

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUERTO VERTICAL CON SISTEMA DE
RIEGO AUTOMÁTICO POR GOTEO

LUIS CARLOS GRANADA RAMOS
MIGUEL FERNANDO SOTO ARIAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA - RISARALDA
JUNIO 2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUERTO VERTICAL CON SISTEMA DE
RIEGO AUTOMÁTICO POR GOTEO

LUIS CARLOS GRANADA RAMOS
MIGUEL FERNANDO SOTO ARIAS

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR
PhD. ALEXANDER DÍAZ ARIAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA - RISARALDA
JUNIO 2020

Quiero agradecer a Dios y a la vida por brindarme la oportunidad de levantarme cada día y aprender de cada circunstancia, a mis padres y mi familia por el apoyo incondicional para cumplir mis sueños, a mi novia Leidy Fernández por su amor y compañía en cada momento, a todos los docentes y compañeros con los cuales compartí a lo largo de mi estancia en la universidad ya que gracias a ellos aprendí muchas cosas valiosas para mi vida personal y profesional, a mi amigo y compañero Miguel Fernando Soto por su amistad y compromiso para llevar a cabo este proyecto, a mi director Alexander Díaz por su guía, apoyo y acompañamiento durante este proceso, a todos ustedes muchas gracias.

Luis Carlos Granada Ramos

A Dios por permitirme tener y disfrutar de mi familia; a mis padres Ariane y Luis Fernando, por mostrarme el camino correcto y apoyarme en cada difícil momento; a mi novia Vanessa Brand, por su amor, lealtad y energía en cada uno de mis días; a mi amigo y colega Luis Carlos Granada, por brindarme su valiosa amistad y compartir conmigo todo el proceso; a mi maestro Alexander Díaz, por brindarme su amistad, guiarme y ser parte de mi formación profesional. Infinitas gracias.

*“Fría la cabeza, caliente el corazón
y larga la mano”.*

Miguel Fernando Soto Arias

Nota de Aceptación

Director

Pereira - 05/06/20

Dedicación

A Dios por permitirme cumplir una de mis metas, a mis padres y a mi familia por su apoyo incondicional, al programa de Ingeniería mecánica por brindarme todas las herramientas para formarme como profesional integro, a mis amigos y compañeros por hacer parte de este lindo proceso.

Luis Carlos Granada Ramos

El camino ha sido extenso; colmado de aprendizaje, ilusión, motivación, angustia, tristezas y alegrías, han enriquecido mi viaje, que aún no llega a su fin, pues son estas enseñanzas mis herramientas, las que construyen mi biografía poco a poco. Este trabajo está dedicado a Dios, mis padres y a todos los soñadores que nunca se dan por vencidos.

Miguel Fernando Soto Arias

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
OBJETIVOS	15
METODOLOGÍA.....	16
Etapa 1. Fundamentación.....	16
Etapa 2. Diseño de la estructura y las macetas para el huerto vertical	16
Etapa 3. Cálculo del requerimiento de riego, diseño hidráulico y automatización del sistema	16
Etapa 4. Análisis energético del sistema	16
Etapa 5. Elaboración de información técnica	16
CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES	17
1.1. Riego localizado	17
1.1.1. Evapotranspiración.....	17
1.1.2. Régimen de humedad	18
1.1.3. Distribución del sistema radical	18
1.1.4. Bulbo húmedo	18
1.1.5. Salinidad	19
1.2. Riego por goteo	19
1.2.1. Fuente de abastecimiento de agua.....	20
1.2.2. Reservorio	20
1.2.3. Cabezal de riego	21
1.2.4. Equipo de bombeo	21
1.2.5. Filtración.....	21
1.2.6. Fertirrigación	22
1.2.7. Medición	22
1.2.8. Control.....	22

1.3. Red de distribución de tuberías	23
1.3.1. Laterales de riego.....	23
1.3.2. Goteros	23
CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y MACETAS PARA EL HUERTO	
VERTICAL.....	25
2.1. Diseño de la estructura.....	25
2.2. Diseño de las macetas	25
CAPÍTULO 3. CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE RIEGO	29
3.1. Requerimientos de riego del cultivo	29
3.1.1. Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	29
3.1.2. Evapotranspiración del gotero (ET _g)	30
3.1.3 Lámina de riego (L _r)	30
3.1.4. Lámina neta de riego (L _n)	32
3.1.5. Lámina bruta de riego (L _b)	32
3.1.6. Intensidad de la aplicación (I _a)	33
3.1.7. Tiempo de riego (T).....	33
3.1.8. Área del sector de riego (A _r).....	34
3.1.9. Volumen en el sector de riego (V _r)	34
3.1.10. Caudal del proyecto (Q _p).....	35
CAPÍTULO 4. DISEÑO HIDRÁULICO.....	36
4.1. Croquis de la red de tuberías.....	36
4.1.1 Número de emisores (N _e)	37
4.1.2. Número de laterales (N _l)	38
4.2. Diseño de la tubería lateral portagoteros	38
4.2.1. Presión de operación.....	38
4.2.2. Diámetro nominal de la tubería lateral portagoteros	39
4.2.3. Criterio de diseño	39
4.2.4. Criterio de diseño de la tubería lateral portagoteros (C _{rl})	41
4.2.5. Caudal de la tubería lateral portagoteros (Q _{lat})	42
4.2.6. Pérdida de carga en la tubería lateral portagoteros (h _l)	42

4.2.7. Evaluación de la pérdida de carga.....	45
4.2.8. Presión necesaria en el origen del lateral (Hlo)	46
4.3. Diseño de la tubería de distribución.....	46
4.3.1. Criterio de diseño de la tubería de distribución (Crd)	46
4.3.2. Caudal de la tubería de distribución (Qdis)	46
4.3.3. Pérdida de carga en la tubería de distribución (hd)	47
4.3.4. Evaluación de la pérdida de carga.....	48
4.3.5. Presión necesaria en el origen de la tubería de distribución (Hdo)	48
4.4. Pérdida de carga en la tubería de conducción (hc)	49
4.5. Presión necesaria a la salida del cabezal (Hco).....	49
4.6. Pérdida de carga en el cabezal de riego (Hcr)	49
4.7. Altura manométrica total (Hm)	50
4.8. Selección de la bomba	50
4.9. Selección del reservorio	51
CAPÍTULO 5. SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO	52
5.1. Introducción al sistema de riego automático	52
5.2. Proceso de prototipado.....	52
5.2.1. Prototipo mínimo	52
5.2.2. Diseño incremental.....	53
5.3. Circuito eléctrico	54
5.4. Programación del sistema de riego.....	55
5.5. Conexión con red eléctrica	56
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de tierra de maceta recomendado para hortalizas	26
Tabla 2. Valores de coeficiente único de cultivo	29
Tabla 3. Propiedades físicas del suelo	31
Tabla 4. Intensidad de aplicación para 4 valores de caudal de emisor	33
Tabla 5. Tiempo de riego para 4 valores de intensidad de aplicación	34
Tabla 6. Caudal de proyecto para 4 valores de tiempo de riego	35
Tabla 7. Datos técnicos de los goteros <i>J-Turbo KeyPlus</i>	38
Tabla 8. Información técnica de la tubería portagoteros	39
Tabla 9. Caudal de tubería lateral portagoteros para 4 valores de caudal de goteros	42
Tabla 10. Valores del Coeficiente de Christiansen	43
Tabla 11. Velocidades al interior de la tubería para 3 valores de diámetro interno y 4 valores de caudal de tubería portagoteros	44
Tabla 12. Valores de pérdida de carga producida en la tubería lateral portagoteros	45
Tabla 13. Valores de pérdida de carga producida en la tubería de distribución para 3 valores de diámetro interno	48
Tabla 14. Tabla de configuraciones del fabricante de la bomba SEAFLO 22 series DC diaphragm pump	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Forma de bulbo húmedo en suelos de diferente textura.....	19
Figura 2. Esquema de un sistema de riego por goteo	20
Figura 3. Dimensiones de la estructura en milímetros.....	25
Figura 4. Forma y dimensiones de las macetas en milímetros	26
Figura 5a. Estructura con macetas montadas, vista frontal y lateral.....	27
Figura 5b. Estructura con macetas montadas, vista isométrica.....	28
Figura 6a. Croquis de la red de tuberías	36
Figura 6b. Red de tubería ensamblada en la estructura	37
Figura 7. Posición de los goteros con mayor y menor presión en la unidad de riego	40
Figura 8. Curva caudal vs cabeza, Bomba: <i>SEAFLO 22 Series</i>	51
Figura 9. Esquema preliminar del diseño de riego automático	52
Figura 10. Diagrama de flujo para riego manual	53
Figura 11. Diagrama de flujo para riego automático.....	54
Figura 12. Montaje del circuito eléctrico	55
Figura 13. Norma eléctrica según el RETIE para instalaciones a 120 V.....	56
Figura 14. Conexiones del módulo relé.....	57
Figura 15. Conexión final del sistema automático	57

RESUMEN

El presente proyecto consta de 6 capítulos, donde se describen los conceptos y procedimientos necesarios para el diseño de un huerto vertical con sistema de riego automático por goteo. En el primer capítulo, se definen los conceptos generales del riego localizado y riego por goteo, explicando los componentes principales del sistema, las características del terreno y de la planta que son afectadas por usar un riego localizado. En el segundo capítulo, se diseña la estructura y las macetas del huerto vertical, partiendo de unos requerimientos mínimos de espacio y volumen de tierra necesarios para un óptimo desarrollo de las plantas. En el tercer capítulo, se realiza el cálculo del requerimiento de riego, que determina las necesidades hídricas del cultivo, tales como: la cantidad de agua necesaria por cada riego, tiempo de funcionamiento del sistema e intervalo de días entre cada riego. En el cuarto capítulo, se lleva a cabo el diseño hidráulico, donde se determina por medio de criterios de diseño el diámetro de las tuberías, el caudal de descarga del gotero y la bomba que va a ser usada para el funcionamiento del sistema. En el quinto capítulo, se describe el procedimiento llevado a cabo para la automatización del sistema. Por último, en el sexto capítulo, se hace un análisis del consumo energético del sistema.

PALABRAS CLAVE: Riego automático, goteo, huerto vertical, criterios de diseño, automatización, ahorro de agua, economía verde.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos es uno de los pilares más importantes en la economía y el mercado mundial, es básico para el ser humano suplir esta necesidad, debido a esto, la agricultura y ganadería consumen cerca del 70 % del agua en el mundo y el 40 % de la superficie terrestre [7]; según la ONU, para el año 2050 se espera que la población mundial supere los nueve mil millones de personas [8] (más del 40 % de la población mundial actual). Con esto habrá incrementos significativos en la demanda de agua, un insumo fundamental para toda la cadena de producción agroalimentaria. Con base en las estimaciones de crecimiento poblacional, la producción mundial de alimentos tiene que aumentar hasta un 60 % para satisfacer la demanda en 30 años.

Existen muchos métodos de riego para los cultivos dependiendo del tipo de aplicación, el área sembrada y las condiciones ambientales donde se encuentra, los sistemas de riego pueden incluir los siguientes tipos de infraestructura:

- Embalses (con represa o reservorios).
- Balsas.
- Obras de toma de derivación.
- Pozos, estaciones de bombeo, acequias y tuberías para transportar el agua.

A partir de esas infraestructuras, los métodos más comunes de riego son:

- Por inundación o sumersión
- Aspersión
- Infiltración o canales
- *Por goteo o riego localizado*

El método principal de entrega de agua al campo (para cerca del 95 % de los proyectos en todo el mundo) es el riego por inundación o de surco [9]. Otros sistemas emplean aspersores y riego por goteo. Aunque sean técnicas relativamente nuevas, que requieren una inversión inicial más grande y manejo más intensivo que el riego de superficie, el riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el regadío.

Para contribuir a la sostenibilidad alimenticia, el consumo de alimentos saludables y reducir el gasto de agua de la agroindustria, se pretende diseñar y construir una estructura para un huerto vertical, donde se *optimice el espacio para cultivar* y que requiera un gasto mínimo del recurso hídrico, con un *sistema de riego por goteo*.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria agrícola cada año tiene que suplir la gran demanda de alimentos a nivel mundial, por tal motivo, está en la obligación de usar técnicas que permitan producir más con el menor impacto ambiental, haciendo de esto una tarea difícil, ya que el consumo energético y de recursos es muy alto, por tal motivo, nace la propuesta de crear una estructura con un sistema de riego automático por goteo, que las personas puedan tener en su hogar, permitiendo tener en ella plantas hortalizas, aromáticas y ornamentales, logrando así una independencia alimenticia, produciendo alimentos orgánicos con un bajo consumo de agua y otros recursos importantes, como combustibles, plásticos y minerales; hasta ahora sólo se ha tocado la parte del consumo de agua y el espacio que ocupan los cultivos, sin embargo, la industria agrícola va más allá, considerando la necesidad de que los alimentos lleguen a los hogares, estos deben pasar largos procesos, que van desde las actividades previas a la cosecha como la siembra, el remojo, el aporte de nutrientes y abonos, eliminación de plagas y enfermedades, sistemas de contingencia en caso de sequías o inundaciones; con la llegada del tiempo de cosecha, que se puede realizar de forma manual o con maquinaria dependiendo del tipo de cultivo, hay que transportar el producto hasta el sitio donde se va a lavar, separar y empacar de acuerdo a sus características, hay que resaltar que la mayoría de los empaques son plásticos, lo cual genera otro foco de contaminación, después de esto hay que volverlo a transportar hasta los sitios de distribución, la mayoría de estos alimentos hay que tenerlos refrigerados o bajo ciertas condiciones de humedad y luz, lo cual conlleva a un consumo extra de energía. A pesar de todo el esfuerzo requerido para poder producir los alimentos en Colombia, se desperdician 9,76 millones de toneladas de alimentos al año, lo suficiente para alimentar a una ciudad como Bogotá y sus ocho millones de personas durante 365 días [10].

El 40 % de los alimentos que se desechan, provienen de la producción agropecuaria (3,95 millones de toneladas), mientras que el 23 % se originan del proceso, manejo, transformación y almacenamiento de las empresas (2,27 millones de toneladas); el 21 % de la distribución y retail de los almacenes de cadena (2,01 millones de toneladas) y el 16 % del consumo de personas, hogares, hoteles casinos y restaurantes (1,53 millones de toneladas).

En la agricultura urbana “los huertos pueden ser hasta 15 veces más productivos que las fincas rurales. Un espacio de apenas un metro cuadrado puede proporcionar 20 kg de comida al año” [11]. Por tal motivo se pretende fomentar la sustentabilidad alimenticia en los hogares colombianos.

Para reducir todos los desechos y el consumo de energía involucrados en el proceso de producción, transporte y distribución de los alimentos, se propone diseñar y fabricar una estructura de huerto vertical con sistema de riego automático por goteo, que cumpla con tres requisitos básicos:

- Utilizar materiales para la construcción de la estructura que puedan ser reciclados y reutilizados
- Reducir el consumo de recursos y de espacio para llevar a cabo actividades agrícolas.
- Fomentar una cultura de producción sustentable, cambiando los malos hábitos alimenticios mediante el consumo de productos orgánicos y frescos.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar y fabricar una estructura de huerto vertical con sistema de riego automático por goteo, que permita reducir el consumo del recurso hídrico y el espacio.

Objetivos específicos:

- Efectuar un estudio preliminar del sistema de riego por goteo, determinando a qué cultivos se aplica y en qué medida es eficiente.
- Determinar las dimensiones optimas de la estructura, materiales y accesorios; buscando la mejor distribución de espacio para tener la mayor cantidad de plantas.
- Realizar un análisis económico que permita estimar la diferencia entre el costo que tiene el consumo energético si se utiliza el huerto vertical con el sistema de riego automático por goteo, o si se comparan los alimentos en el mercado.
- Elaborar la información técnica para la instalación del huerto vertical con sistema de riego automático por goteo.
- Construir el huerto vertical con sistema de riego automático por goteo.

METODOLOGÍA

Etapas 1. Fundamentación

Obtención de información basada en datos técnicos sobre el sistema de riego por goteo, para determinar la viabilidad de su aplicación en un huerto vertical, conociendo las variables que implican su buen funcionamiento e identificando en qué tipo de cultivos se puede usar.

Etapas 2. Diseño de la estructura y las macetas para el huerto vertical

Partiendo del espacio disponible para el montaje del sistema y de los requerimientos de volumen de tierra mínimos para el buen desarrollo de las plantas, se realiza el diseño de la estructura de huerto vertical y las macetas que cumplan con las condiciones de espacio establecidas.

Etapas 3. Cálculo del requerimiento de riego, diseño hidráulico y automatización del sistema

Basado en los conocimientos adquiridos de los cursos: *Diseño, Mecánica De Fluidos, Máquinas Hidráulicas, Resistencia De Materiales, Instrumentación Y Control*; más los conceptos estudiados acerca del sistema de riego por goteo, se realizan todos los cálculos necesarios para determinar los componentes y equipos a utilizar en el montaje del huerto vertical, además de la automatización del sistema de riego.

Etapas 4. Análisis energético del sistema

Cálculo del consumo eléctrico del sistema para su manutención mensual.

Etapas 5. Elaboración de información técnica

Elaboración de planos del diseño, mediante el software de CAD SolidWorks®; código y algoritmos de control mediante Arduino IDE® e ilustraciones mediante Fritzing®.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Riego localizado

El riego localizado consiste en humedecer una zona más o menos restringida del volumen de suelo que habitualmente ocupan las raíces. Sus características principales son:

- No se humedece la totalidad del suelo.
- Se utilizan pequeños caudales a baja presión.
- El agua se aplica con alta frecuencia.

La localización del agua en la proximidad de las plantas se manifiesta modificando algunas características de las relaciones suelo-agua-planta, tales como, evapotranspiración, régimen de humedad, distribución del sistema radical, bulbo húmedo y salinidad. La alta frecuencia de aplicación del agua implica unas importantes consecuencias sobre su aprovechamiento, ya que al estar siempre el suelo a la capacidad de campo o muy próximo a ella, las plantas absorben el agua con mayor facilidad [1]. El riego localizado incluye:

- Riego por goteo: el agua se aplica en forma de gotas o mediante flujo continuo, mediante el uso de goteros, con un caudal inferior a 16 litros/hora por punto de emisión o por metro lineal de manguera de goteo.
- Riego por microaspersión: el agua se aplica en forma de lluvia fina a través de aspersores, con caudales comprendidos entre 16 y 200 litros/hora por punto de emisión.

1.1.1. *Evapotranspiración*

La evapotranspiración comprende las pérdidas de agua ocasionadas por la evaporación en el suelo y la transpiración de la planta. En el riego localizado se moja una parte de la superficie del suelo; por tanto, las pérdidas por evaporación son menores que en aquellos sistemas de riego donde se moja toda la superficie del suelo. En cambio, la transpiración puede ser mayor en el riego localizado debido a que el suelo seco se calienta más que el suelo húmedo, provocando un aumento de temperatura en el follaje.

1.1.2. Régimen de humedad

Existe un nivel de agua en el suelo llamado nivel mínimo, por encima del cual la planta se desarrolla satisfactoriamente. Cuando el agua del suelo desciende por debajo del nivel mínimo, la planta tiene que hacer un esfuerzo mayor para absorber el agua, lo cual se traduce en una menor absorción y en consecuencia una menor transpiración y disminución del rendimiento. El nivel mínimo depende del tipo de cultivo y de su estado de desarrollo, se define por una cantidad de agua existente en un suelo determinado, pero de ninguna manera depende del riego utilizado. La respuesta de los cultivos al riego no depende del método de riego, pero sí del régimen de humedad del suelo que produce ese método.

1.1.3. Distribución del sistema radical

Numerosas experiencias han puesto de manifiesto que las plantas pueden desarrollarse normalmente con un volumen de suelo inferior al que normalmente ocupan. Ello se debe a que el sistema radical se desarrolla rápidamente en la zona humedad disponible, por lo que no es raro que en la zona húmeda del riego localizado la concentración de raíces sea 3-4 veces mayor que en otro riego no localizado.

1.1.4. Bulbo húmedo

Se denomina bulbo húmedo al volumen de suelo que es humedecido por un emisor de riego localizado. El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, que tiene una gran importancia; ya que, en él se desarrolla el sistema radical de las plantas. La forma y el tamaño del bulbo húmedo dependen de tres factores que son:

- La textura del suelo: en suelos arenosos, donde hay gran cantidad de poros grandes el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, mientras que en suelos arcillosos el agua se extiende con más facilidad hacia los lados.
- El caudal de cada emisor: cuando el agua sale por un emisor se forma un charco, a su vez el suelo empieza a absorber el agua de la superficie de este. El tamaño del charco depende del caudal de descarga del emisor, a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco.
- El tiempo de riego: a medida que aumenta el tiempo de riego el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero su extensión en sentido horizontal aumenta discretamente.

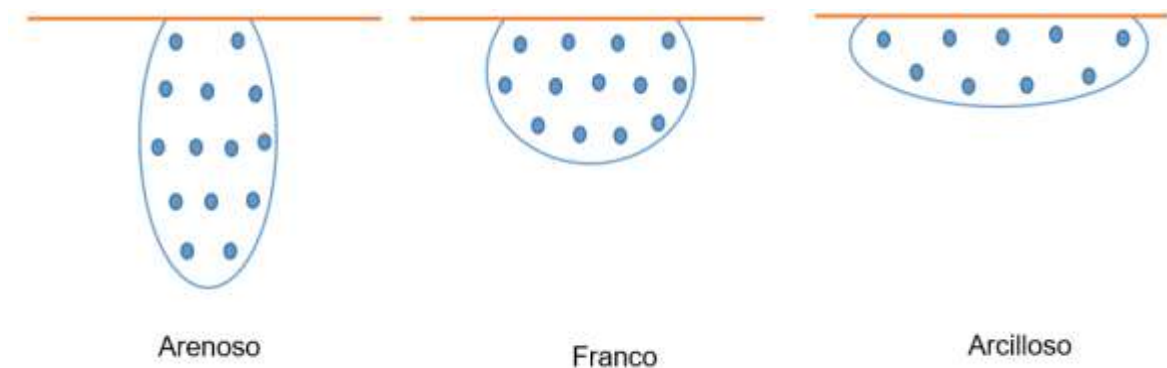


Figura 1. Forma del bulbo húmedo en suelos de diferente textura.

1.1.5. Salinidad

Las sales contenidas en el suelo y las aportadas con el agua de riego se mantienen en disolución en el agua del suelo. La planta absorbe el agua y una pequeña parte de sales, quedando el resto en el suelo. A medida que disminuye el agua se incrementa la concentración de sales, con lo cual aumenta la tensión osmótica de la disolución y las plantas encuentran mayor dificultad para absorber el agua; en el riego localizado se mantiene un nivel alto de humedad y en consecuencia un nivel bajo de salinidad, por eso se pueden utilizar aguas con mayor contenido de sal que en otros métodos de riego.

1.2. Riego por goteo

El sistema de riego por goteo permite conducir agua desde un depósito a una red de tuberías para ser aplicada en un cultivo mediante el uso de emisores insertados en dicha tubería, estos emisores aportan pequeños volúmenes de agua en forma periódica y son llamados goteros.

El riego por goteo es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo suficiente para un buen desarrollo del cultivo, también se le denomina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una o dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el periodo de cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas [2]. En la Figura 2. se observa un esquema de los componentes de una instalación de riego localizado.

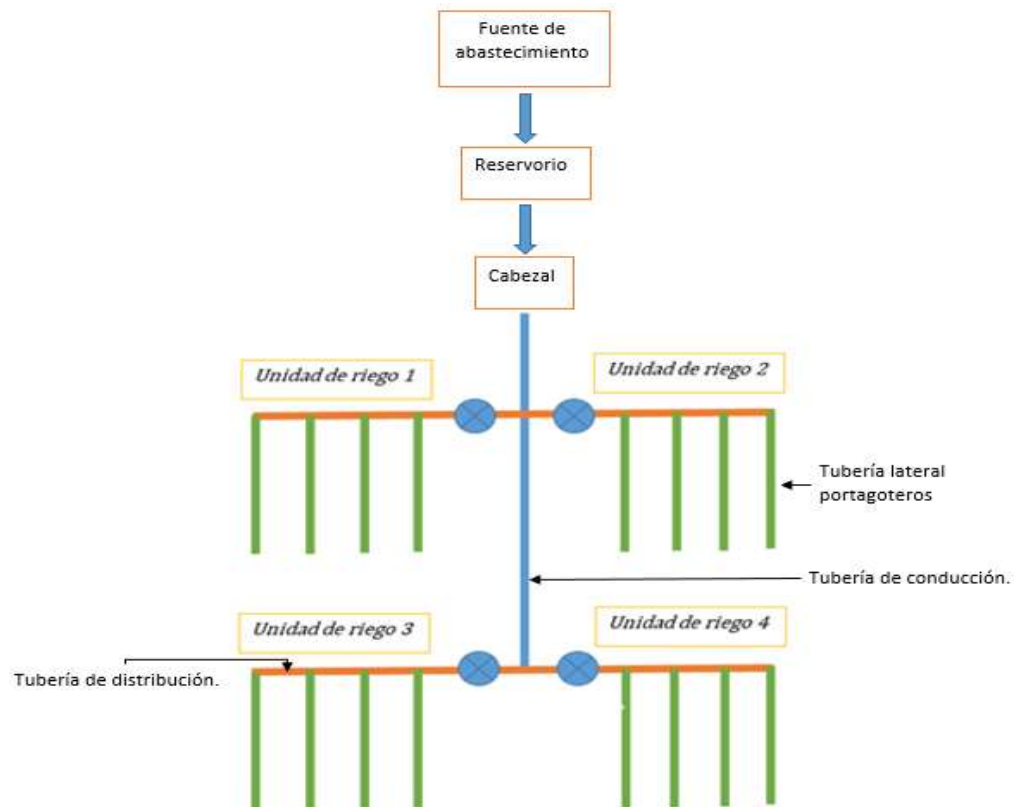


Figura 2. Esquema de un sistema de riego por goteo.

1.2.1. Fuente de abastecimiento de agua

Es el lugar donde se obtiene el recurso hídrico que va a ser usado para el riego del cultivo. El abastecimiento para el sistema puede provenir de la red de riego (acequias) en aquellas zonas con derecho, extracción de agua subterránea a través de perforaciones o fuentes naturales (ríos, quebradas). En este caso, la fuente de abastecimiento de agua será el acueducto municipal ya que el sistema que se pretende diseñar estará ubicado en zonas urbanas.

1.2.2. Reservorio

Es el depósito encargado del almacenamiento de agua también llamado embalse. El agua se almacena en reservorios cuya función es abastecer de forma constante el sistema. El tamaño y la forma del reservorio dependen de las necesidades del cultivo y de la superficie a regar.

1.2.3. Cabezal de riego

Es el conjunto de elementos destinados a proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes (fertirrigación), medir volúmenes y presiones, y controlar de forma manual o automática el funcionamiento del equipo de bombeo.

1.2.4. Equipo de bombeo

Está conformado por una o más bombas, cuyo tamaño y potencia dependen de la superficie a regar y las necesidades del cultivo. La bomba debe ser seleccionada para que la presión requerida sea suficiente y así vencer las diferencias de altura y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las bombas centrífugas alimentadas con energía eléctrica son las más usadas para esta labor. Es importante el buen montaje del sistema de bombeo, teniendo en cuenta la correcta instalación de la tubería de aspiración y descarga para evitar problemas de cavitación y obstrucciones del rodete.

1.2.5. Filtración

Es una parte importante del sistema de riego, pues uno de los problemas más graves que presenta el sistema es la obstrucción del gotero y esta se genera a partir de partículas minerales en suspensión (arcilla, limo y arena), materia orgánica (algas, restos vegetales y animales) y/o precipitados químicos (sales y fertilizantes). En los sistemas de riego por goteo se pueden implementar tres tipos de filtros:

- **Hidrociclones:** su función es separar la arena y otras partículas compactas más pesadas que el agua, por lo cual, es ideal como filtro previo en instalaciones que captan agua de pozo. La separación se produce gracias a la velocidad de rotación que se genera al ser inyectada el agua en forma tangencial en el interior del cuerpo del hidrociclón y como consecuencia de la fuerza centrífuga, las partículas sólidas se desplazan hacia la pared del cono siguiendo una trayectoria espiral descendente, de esta forma las partículas sólidas son arrastradas a la parte inferior del hidrociclón donde se almacena en un depósito colector.
- **Filtro de arena:** es utilizado cuando se requiere la retención de partículas de hasta 20 micras. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena; una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzado una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contracorriente. La calidad de

la filtración depende de varios parámetros, entre ellos: la forma del filtro, altura del lecho filtrante y velocidad de filtración.

- **Filtro de malla:** realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo aquellas partículas de tamaño superior al de los orificios de malla. Esto hace que su colmatación sea mucho más rápida que la de los filtros de arena. Por esta razón, se suelen utilizar con aguas no muy sucias que contengan partículas de tipo inorgánico, o como elementos de seguridad después de hidrociclones, filtros de arena o equipos de fertirrigación. Cuando las aguas contienen algas su uso no está indicado, porque se colmatan rápidamente y dejan pasar las impurezas.

1.2.6. Fertirrigación

La fertirrigación es una técnica que permite aprovechar el sistema de riego por goteo para aplicar simultáneamente con el agua fertilizantes que van disueltos en la corriente. Lo que permite conseguir una disminución en el consumo de fertilizantes, pues se suministra de forma localizada en la zona de las raíces de la planta, también proporciona una mejor asimilación, debido al elevado contenido de humedad del suelo que permite una mejor disolución del abono y rapidez de actuación. Por otro lado, el equipo de fertirrigación además de fertilizantes y abonos, puede ser empleado para inyectar herbicidas, fungicidas e insecticidas.

Cabe resaltar que un inconveniente que presenta este método de aplicación de abono es el taponamiento de los goteros, este puede ser causado por una disolución insuficiente del fertilizante en la corriente de agua, o porque exista incompatibilidad entre distintos fertilizantes utilizados en el mismo sistema o con otros productos que se apliquen (herbicidas, insecticidas).

1.2.7. Medición

Los elementos destinados a la medición de variables críticas del sistema son los manómetros y caudalímetros, pues permiten conocer la presión y el caudal respectivamente, los manómetros pueden ir ubicados en el cabezal de riego como en el campo, mientras que los segundos se instalan en el cabezal en la salida de los filtros.

1.2.8. Control

No es una obligación la automatización del sistema de riego, pero hacerlo tiene grandes ventajas como:

- Mejor control de la frecuencia y láminas de riego.
- Programación cronológica de riego y fertilización.
- Control de fallas y averías.
- Almacenamiento de datos de riego.
- Ahorro de tareas manuales.

Los controladores se instalan en el cabezal de riego y manejan las operaciones de riego en forma secuencial. Funcionan con un reloj electrónico (RTC), un microcontrolador y un relé, que interrumpe o no la corriente eléctrica, estos a su vez a la bomba. De este modo, una vez programado el microcontrolador con el RTC, activan el relé encendiendo la bomba y finalizando el riego en función de la orden enviada por el microcontrolador.

1.3. Red de distribución de tuberías

Las tuberías de material plástico como: policloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE) son las más utilizadas para el montaje de la red de tuberías, dado que las presiones de trabajo en las instalaciones de riego por goteo no son muy elevadas. Toda tubería de plástico deberá llevar impresa sobre su superficie, además de la marca comercial y la normativa a la que hace referencia, la identificación del material del que está fabricada la tubería (PVC, PE, etc.), su presión nominal de diseño (PN) y su diámetro nominal (DN).

En las tuberías de plástico, el diámetro nominal (DN) coincide con el diámetro exterior de la tubería. No obstante, con frecuencia las tuberías de plástico se designan también por su diámetro en pulgadas. En este caso, el diámetro en pulgadas de la tubería equivale aproximadamente a su diámetro interior.

1.3.1. Laterales de riego

Son las tuberías que se ubican en el cultivo a lo largo de la hilera de plantas, el material es polietileno de baja densidad. También son denominadas tubería portagoteros.

1.3.2. Goteros

También conocidos como emisores, son los dispositivos que van insertados en la tubería lateral portagoteros y su misión radica en verter el agua a la planta en forma de gotas continuas. Su funcionamiento se basa en pasar el agua a través de pequeños orificios o laberintos al interior del gotero, lo que provoca una pérdida de

carga por fricción del agua, haciendo que la presión del fluido a la salida del gotero sea muy pequeña, prácticamente cero.

Dependiendo de las medidas de paso a través del gotero, existen distintos tipos de goteros que logran descargar un caudal de agua que puede oscilar entre 1 hasta los 16 litros/ hora [l/h].

Cuando el emisor tiene mecanismos de regulación de presión se clasifica en:

- **Autocompensados:** tienen la particularidad de mantener el mismo caudal, aunque varíe la presión. El flujo es turbulento y en su interior posee una membrana de silicona (diafragma) que se deforma por la diferencia de presión del agua antes y después de la misma, modificando el conducto de paso y manteniendo el caudal constante. Su uso es más frecuente en terrenos ondulados, con pendientes pronunciadas y para longitudes extensas.
- **No compensados:** no tienen mecanismo de regulación de caudal y varían en función de la presión. Pueden funcionar con menor presión que los autocompensados y son más económicos; sin embargo, para no perder uniformidad de caudal, la longitud de los laterales debe ser menor.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y MACETAS PARA EL HUERTO VERTICAL

2.1. Diseño de la estructura

La estructura del huerto vertical sirve de soporte para las macetas y la red de tuberías (lateral portagoteros y de distribución). Para el diseño de la estructura, se cuenta con un área superficial 5,25 metros cuadrados distribuidos de la siguiente manera: 3,50 metros de largo y 1,5 metros de ancho. La altura limite es de 1,85 metros. Teniendo en cuenta estas medidas, se diseña la estructura mediante el uso del software SolidWorks® 2018. En la Figura 3 se muestran las dimensiones de la estructura en milímetros.

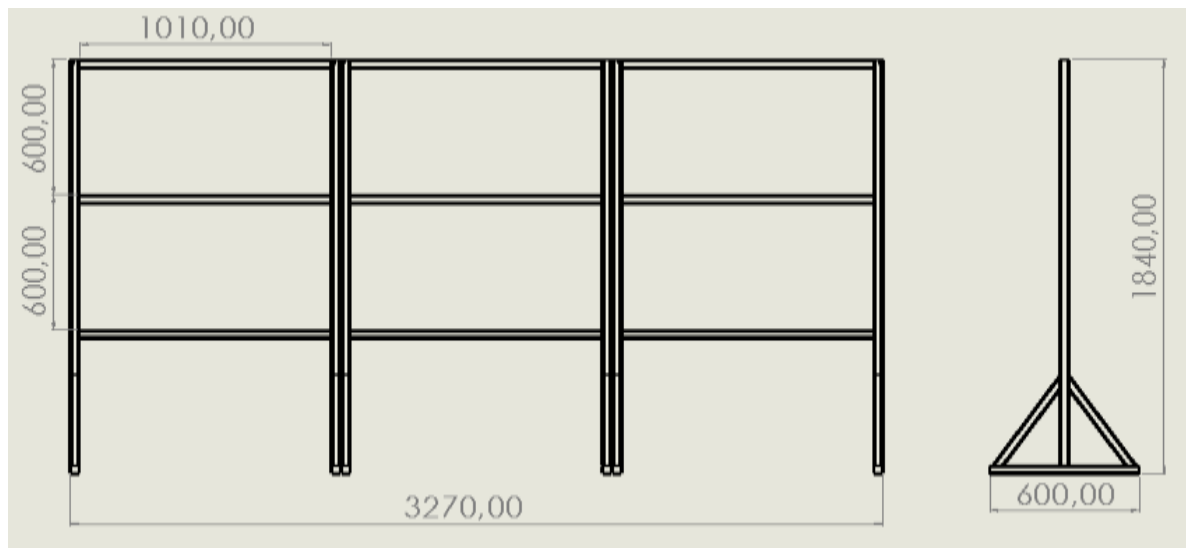


Figura 3. Dimensiones de la estructura en milímetros.

Para la fabricación de la estructura se usa tubo rectangular de dimensiones 40x40x4 y material ASTM A36. En el *Anexo A* se encuentra el plano de taller de la estructura.

2.2. Diseño de las macetas

Las macetas se ubican a lo largo de los tubos horizontales de la estructura, dichas macetas deben contener el volumen de tierra adecuado para satisfacer las necesidades de la planta y fomentar su óptimo desarrollo. Las macetas tienen que contar con un sistema de aireación y filtración para evitar problemas derivados del exceso de agua. En la Tabla 1 se encuentra el volumen de tierra recomendado para un buen desarrollo de hortalizas con un volumen de tierra igual o inferior a 10 litros,

esta información es tomada de: “*Guía para la producción y consumo saludable*” Roberto Zoppolo (2008).

Tabla 1. Volumen de tierra y diámetro de maceta recomendado para hortalizas.

Planta	Volumen de tierra [L]	Diámetro de la maceta [cm]
Ajo	3	10
Apio	10	20
Canónigos	1	10
Cebolla	3	15
Escarola	4	20
Espinaca	5	10
Fresón	10	20
Guisantes	5	20
Habas	5	30
Lechuga	3	20
Nabo	3	20
Puerro	4	10
Rabanitos	1	5
Remolacha	5	10
Rúcula	1	5
Zanahoria	2	10

El diseño de la maceta se realiza mediante el uso del software SolidWorks® 2018, en la Figura 4 se muestran las dimensiones de la maceta en milímetros y su forma.

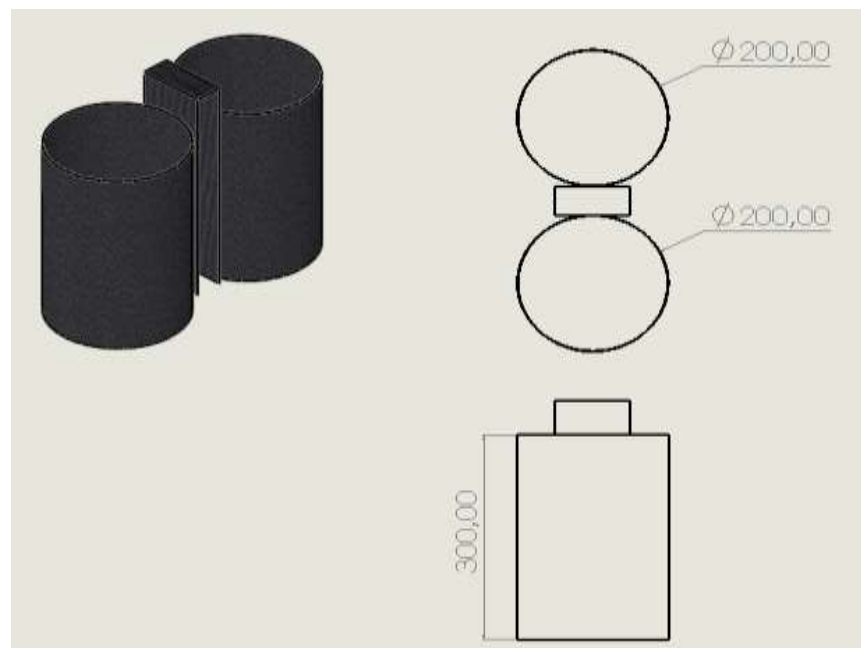


Figura 4. Forma y dimensiones de las macetas en milímetros.

El material usado para la fabricación de las macetas es *Geotextil No Tejido NT 1600*. Este material se forma a partir de entrelazados de fibras o filamentos de polipropileno virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas, conformando un velo con altas propiedades de filtración y drenaje; los Geotextiles fabricados por ese proceso tienen buenas características hidráulicas y de resistencia al punzonamiento, gracias a su estructura tridimensional y gran elongación (más del 50 %), proporciona buena adaptabilidad de las desuniformidades del terreno, excelentes propiedades de protección y filtración [3].

El uso de esta membrana para la fabricación de las macetas, permite reducir el peso que va a soportar la estructura, además de las propiedades físicas y mecánicas que posee, la hace ideal para la infiltración y evapotranspiración del agua en las plantas. En el *anexo A* se encuentra el plano de taller de las macetas. Se realiza una simulación de carga estática mediante la herramienta *simulation* del SolidWorks® 2018 para verificar si la estructura soportaba el peso de las macetas con tierra húmeda, obteniendo unos resultados satisfactorios, en el *Anexo B* se encuentra el informe de la simulación. Las Figuras 5a y 5b ilustran la estructura con las macetas montadas en ella.

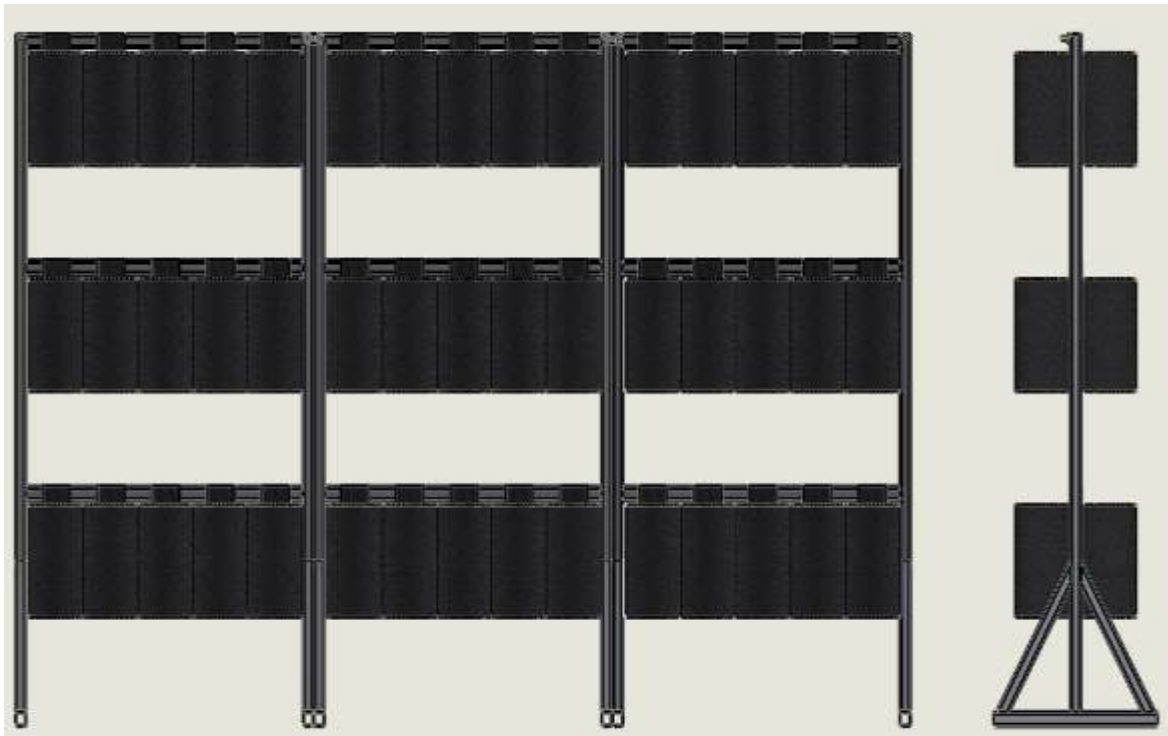


Figura 5a. Estructura con macetas montadas, vista frontal y lateral.



Figura 5b. Estructura con macetas montadas, vista isométrica

CAPÍTULO 3. CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE RIEGO

3.1. Requerimientos de riego del cultivo

Se calculan los requerimientos de riego del cultivo, estos son: el caudal necesario, el tiempo de riego, intervalo y láminas de riego, dichos datos se emplean para el diseño hidráulico. Esta información es necesaria para la correcta operación del sistema [1].

3.1.1. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo es el requerimiento hídrico del cultivo, se obtiene mediante la fórmula:

$$ET_c = E_{to} \times K_c \quad (1)$$

Donde:

E_{to} : evapotranspiración referencial [mm/día], cuyo valor es 4,25 mm/día según el IDEAM [4].

K_c : coeficiente del cultivo, se obtiene de la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, K_c y alturas medias [5].

Cultivo	$K_{c,ini}^a$	$K_{c,med}$	$K_{c,fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla		1,05	0,75	0,4
– seca		1,00	1,00	0,3
– verde		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas	0,6	1,15	0,80	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 ^b	0,90	0,7
Tomate		1,15 ^b	0,70–0,90	0,6
c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas	0,5	1,00	0,80	
Melón	0,5	0,85	0,60	0,3
Pepino		1,00 ^c	0,75	0,3
– Cosechado Fresco	0,6	1,00	0,90	0,3
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90	0,3
Calabaza de Invierno		1,00	0,80	0,4
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75	0,3
Melón dulce		1,05	0,75	0,4
Sandía	0,4	1,00	0,75	0,4
d. Raíces y Tubérculos	0,5	1,10	0,95	
Remolacha, mesa		1,05	0,95	0,4
Yuca o Mandioca		0,80 ^d	0,30	1,0
– año 1	0,3	1,10	0,50	1,5
– año 2	0,3	1,10	0,50	1,5
Chirivía	0,5	1,05	0,95	0,4
Patata o Papa		1,15	0,75 ^e	0,6
Camote o Batata		1,15	0,65	0,4
Nabos (Rutabaga)		1,10	0,95	0,6
Remolacha Azucarera	0,35	1,20	0,70 ^e	0,5

Para el valor de K_c , se toma 1,05 que corresponde al promedio temporal para hortalizas pequeñas, reemplazando los valores de E_{to} y K_c en (1) se obtiene:

$$ET_c = 4,25 \frac{mm}{día} \times 1,05 = 4,46 \frac{mm}{día}$$

3.1.2. Evapotranspiración del gotero (ET_g)

Como se realiza riego localizado por goteo, se debe ajustar el humedecimiento a riego localizado, llamado evapotranspiración del gotero (ET_g), usando la siguiente formula:

$$ET_g = E_{tc} \times PAR \quad (2)$$

Donde:

E_{tc} : evapotranspiración del cultivo, cuyo valor es 4,46 mm/día.

PAR : porcentaje de área bajo riego, cuyo valor es 0,5 para el riego por goteo [1].

Reemplazando estos valores en (2) se obtiene:

$$ET_g = 4,46 \frac{mm}{día} \times 0,5 = 2,23 \frac{mm}{día}$$

3.1.3 Lámina de riego (L_r)

La lámina de riego que se aplica al suelo se determina usando la siguiente formula:

$$L_r = \frac{(CC - PMP)}{100} \times Pr \times Da \quad (3)$$

Donde:

CC : capacidad de campo de suelos según su textura, valor tomado de Tabla 3.

PMP : punto de marchites permanente de suelos según su textura, valor tomado de Tabla 3.

Pr : profundidad de las raíces, cuyo valor es de 30 centímetros, siendo la profundidad de la maceta.

Da : densidad aparente de suelos según su textura, valor tomado de Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades físicas del suelo (Yagüe, J 2003).

Textura	Porosidad %	Densidad aparente	Capacidad de campo % en peso	Punto de marchitamiento % en peso	Humedad disponible		
					% en peso	% en volumen	cm/m
Arenoso	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (7-10)
Franco- arenoso	43 (40-47)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	47 (43-49)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-19)
Franco- arcilloso	49 (47-51)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (17-22)
Arcillo- arenoso	51 (49-53)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	23 (18-23)
Arcilloso	53 (51-55)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)

Para el cálculo de la lámina de riego, se asume que el suelo es Franco y reemplazando estos valores en (3) se obtiene:

$$Lr = \frac{(22 - 10)}{100} \times 30 \text{ cm} \times 1,4 = 5,04 \text{ cm}$$

Este valor representa la cantidad de agua necesaria para alcanzar la capacidad de campo (CC), con la cual se inicia el primer riego de un cultivo. Posteriormente, con riegos sucesivos en determinados intervalos de riego, se restituye la humedad perdida para evitar que la reserva de humedad llegue al agotamiento.

Lo anterior, da lugar al concepto de lámina neta de riego (Ln), esta lámina sirve para restituir la humedad del suelo. Dicha humedad de restitución equivale a una fracción de la lámina de riego (Lr) y puede definirse como la humedad necesaria para la restitución del agua consumida por el cultivo en cierto período de tiempo. Por tanto, sólo se permite un cierto porcentaje de agotamiento de la lámina de riego (Lr), y cuando se cultivan hortalizas debe estar entre 15 % y 25 % [1].

3.1.4. Lámina neta de riego (L_n)

Para estimar la lámina neta de riego, se hace uso de la siguiente expresión:

$$L_n = E_{tg} \times I_r \quad (4)$$

Donde:

E_{tg} : evapotranspiración del gotero, cuyo valor es 2,23 mm/día.

I_r : intervalo de riego, cuyo valor se asume en 4 días.

Reemplazando estos valores en (4) se obtiene:

$$L_n = 2,23 \frac{mm}{día} \times 4 \text{ días} = 8,92 \text{ mm}$$

La lámina neta de riego será de 9 mm aproximadamente, es la humedad suficiente para 4 días de consumo del cultivo. Nótese que 9 mm es el 17,8 % de la lámina de riego.

3.1.5. Lámina bruta de riego (L_b)

Cuando se aplica cualquier tipo de riego hay pérdidas, se deben a la eficiencia del riego, por tal motivo, se debe ajustar la lámina de riego neta (L_n). Para calcular la lámina bruta de riego se hace uso de la siguiente formula:

$$L_b = \frac{L_n}{E_f} \quad (5)$$

Donde:

L_n : lámina neta de riego, cuyo valor es 8,92 mm.

E_f : eficiencia del riego, cuyo valor es 0,9 para el riego por goteo.

Reemplazando estos valores en 5 se obtiene:

$$L_b = \frac{8,92}{0,9} = 9,91 \text{ mm}$$

Este es el valor de lámina de agua que se aplica al suelo mediante el riego por goteo, con el fin de restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un periodo de tiempo.

3.1.6. Intensidad de la aplicación (I_a)

En el numeral anterior se encuentra la lámina bruta de riego, dicha lámina es aplicada a través de un sistema de riego por goteo, por lo que es necesario conocer la intensidad de aplicación (dato expresado en milímetros/hora). La estimación de la intensidad de aplicación se hace mediante la expresión:

$$I_a = \frac{\dot{q}_{emisor}}{dl \times de} \quad (6)$$

Donde:

\dot{q}_{emisor} : caudal del emisor (litros/hora). Se hace el cálculo con 4 valores de caudal.

dl : distancia entre laterales, cuyo valor es 0,6 metros según la Figura 3.

de : distancia entre emisores, cuyo valor es 0,2 metros.

En la tabla 4 se observan los resultados de la intensidad de aplicación para 4 valores de caudal.

Tabla 4. Intensidad de aplicación para 4 valores de caudal de emisor.

\dot{q}_{emisor} [l/h]	Intensidad de la aplicación [mm/h]
2	16,66
4	33,33
8	66,66
14	116,66

3.1.7. Tiempo de riego (T)

Para poder operar el sistema se necesita conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (L_b), este tiempo se calcula mediante la fórmula:

$$T = \frac{L_b}{I_a} \quad (7)$$

Donde:

L_b : lámina bruta de riego, su valor es 9,91 mm.

I_a : intensidad de aplicación, cuyos valores se encuentran en Tabla 4.

En Tabla 5 se muestra los resultados del tiempo de riego para los 4 valores de intensidad de aplicación.

Tabla 5. Tiempo de riego para los 4 valores de intensidad de aplicación.

q_{emisor} [l/h]	Intensidad de la aplicación [mm/h]	Tiempo de riego [h]
2	16,66	0,60
4	33,33	0,30
8	66,66	0,15
14	116,66	0,08

El resultado anterior refleja que, para restituir el agua consumida por el cultivo en un intervalo de 4 días, es necesario regar durante el tiempo encontrado de acuerdo con el caudal del emisor. El cálculo de la intensidad de la aplicación y del tiempo de riego se hizo con 4 valores de caudal, ya que aún no se ha seleccionado qué emisor se va a usar, la selección del emisor se muestra en el capítulo 4, de acuerdo a un análisis de sensibilidad para determinar qué caudal de emisor es el más adecuado para la aplicación en el estudio.

3.1.8. Área del sector de riego (Ar)

El área del sector de riego es la superficie por regar, para el caso del estudio, es la suma del área superficial de todas las macetas del huerto vertical. Para calcular el área del sector de riego se hace uso de la siguiente formula:

$$Ar = \frac{\pi}{4} \times Dm^2 \times Nm \quad (8)$$

Donde:

Dm : diámetro de las macetas, su valor es de 0,2 metros tomado de la figura 4.

Nm : número de macetas, su valor es de 90 unidades, tomado de la figura 5.

Reemplazando estos valores en 8 se obtiene:

$$Ar = \frac{\pi}{4} \times 0,2 \, m^2 \times 90 = 2,83 \, m^2$$

3.1.9. Volumen en el sector de riego (Vr)

Es el volumen de agua que se usa para regar la superficie del sector de riego, se calcula mediante la siguiente formula:

$$Vr = Ar \times Lb \quad (9)$$

Donde:

Ar : área del sector de riego, cuyo valor equivale a 2,83 m².

Lb: lámina bruta de riego, su valor corresponde a $9,91 \times 10^{-3} \text{ m}$.

Reemplazando estos valores en (9) se obtiene:

$$Vr = 2,83 \text{ m}^2 \times 9,91 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,028 \text{ m}^3$$

El resultado anterior representa el volumen de agua necesario para satisfacer la demanda hídrica del cultivo cada 4 días.

3.1.10. Caudal del proyecto (Qp)

Para calcular el caudal del proyecto se usa la fórmula:

$$Qp = \frac{Vr}{T} \quad (10)$$

Donde:

Vr: volumen del sector de riego, cuyo valor equivale a 28,04 litros.

T: tiempo de riego, donde los valores correspondientes se encuentran en Tabla 5.

En Tabla 6, se muestran los resultados del caudal del proyecto para los 4 valores de tiempo de riego de Tabla 5.

Tabla 6. Caudal de proyecto para 4 valores de tiempo de riego.

Tiempo de riego [h]	Caudal del proyecto [l/h]
0,60	46,73
0,30	93,46
0,15	186,93
0,08	350,5

CAPÍTULO 4. DISEÑO HIDRÁULICO

4.1. Croquis de la red de tuberías

Para el diseño hidráulico se parte del croquis de la red de tuberías, el croquis brinda la información sobre la longitud de la tubería lateral portagoteros y la tubería de conducción, estos datos son el punto de partida para el diseño hidráulico, en la Figura 6a y 6b ilustran el croquis de la red de tuberías y la tubería ensamblada en la estructura, respectivamente.

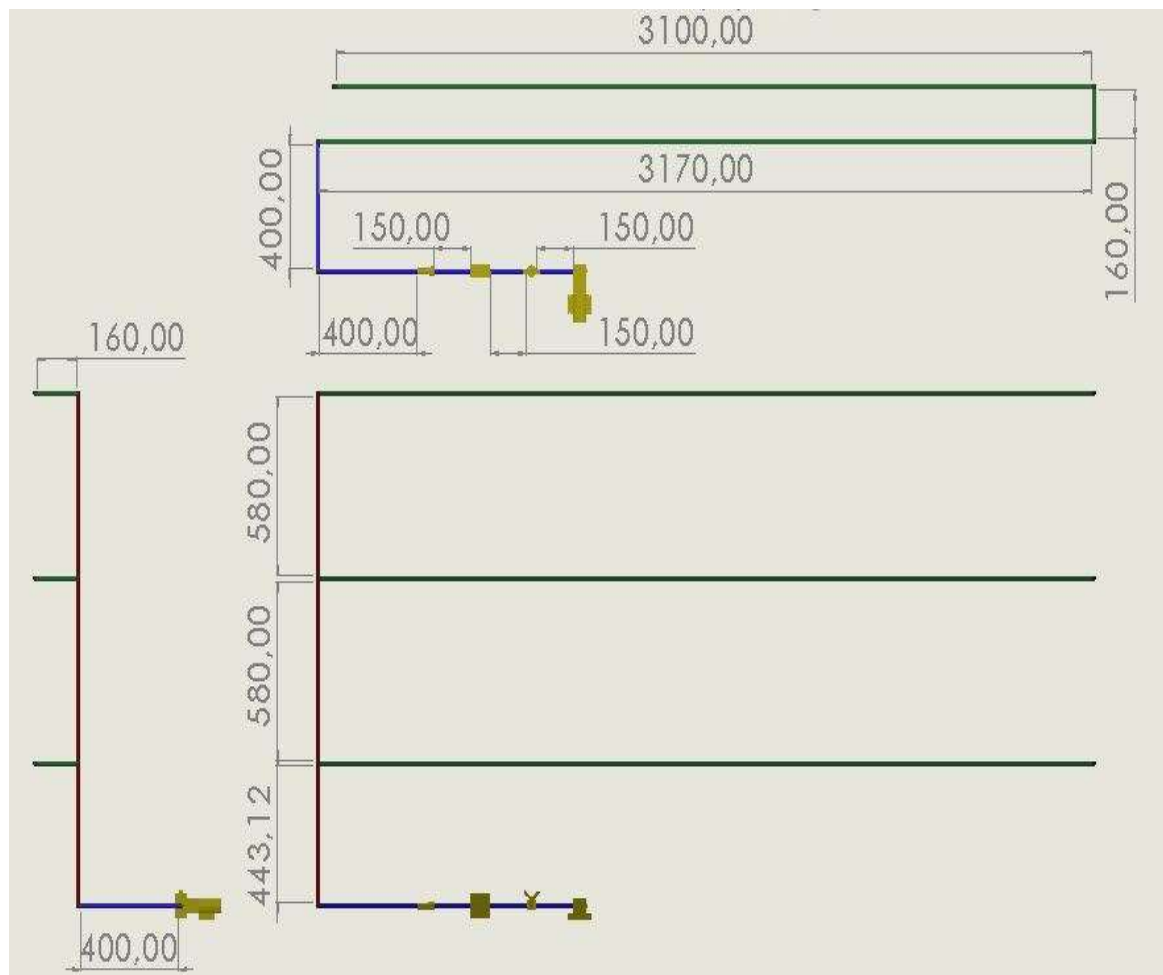


Figura 6a. Croquis de la red de tuberías, medidas en milímetros. Líneas rojas representan la tubería de distribución, líneas verdes representan la tubería de lateral portagoteros, líneas azules representan la tubería de conducción.

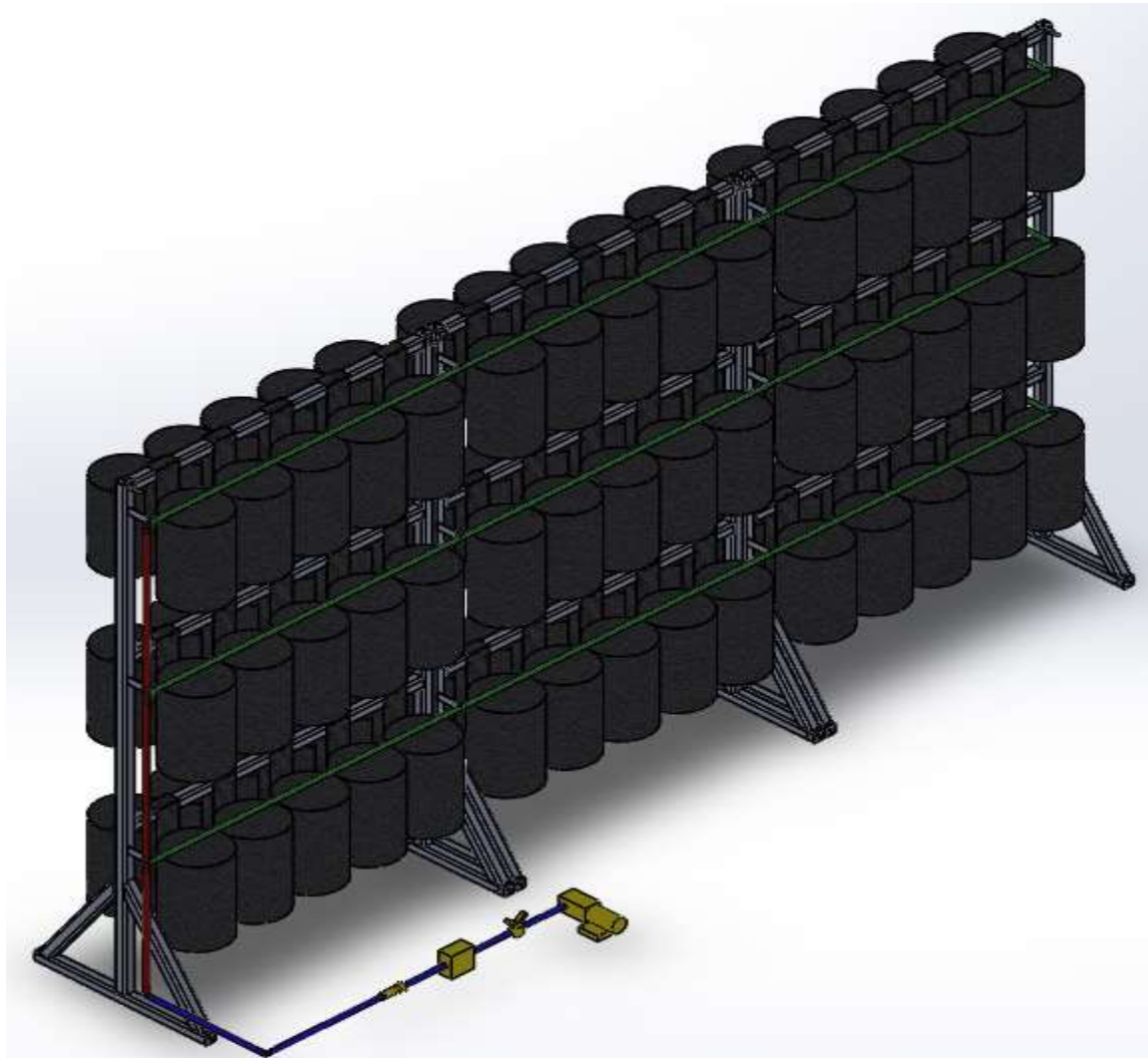


Figura 6b. red de tubería ensamblada en la estructura. Las líneas rojas representan la tubería de distribución, las líneas verdes representan la tubería de lateral portagoteros.

4.1.1 Número de emisores (N_e)

Para estimar la cantidad de emisores que son insertados en la tubería lateral portagoteros, se hace uso de la fórmula:

$$N_e = \frac{Ll}{de} \quad (11)$$

Donde:

Ll : longitud del lateral portagoteros, su valor es 6,42 m tomado de Figura 6.a.

de : distancia entre goteros, cuyo valor es 0,2 metros.

Reemplazando estos valores en la formula (1) se obtiene:

$$Ne = \frac{6,43 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} = 32,15$$

Se hace uso de 30 emisores (goteros) por cada tubería lateral portagoteros, ya que ese es el número de macetas por línea horizontal.

4.1.2. Número de laterales (NI)

El número de laterales portagoteros para el presente caso es igual a 3, este valor se obtuvo de Figura 6a.

4.2. Diseño de la tubería lateral portagoteros

Se realiza el diseño del lateral de riego, mediante el uso de un criterio de diseño que permite determinar cuáles son las pérdidas de carga admisibles en el sistema para un óptimo funcionamiento en los goteros.

4.2.1. Presión de operación

Es la presión de trabajo del gotero, este valor es suministrado por el manual del fabricante, en este caso se usan goteros desarmables de botón J-Turbo KeyPlus con una presión operativa de 1 bar (10 m.c.a), en Tabla 7 se encuentran los datos técnicos del gotero.

Tabla 7. Datos técnicos de los goteros J-Turbo KeyPlus.

DATOS TECNICOS Y CODIGO DE COLOR			
Color de tapa e insertos	Descarga* (l/h)	Exponente del emisor (x)	Coefficiente de flujo (k)
Amarillo	2	0.48	2.0
Negro	4	0.48	4.0
Azul	8	0.48	8.0
Verde	14	0.48	14.0

* A una presión operativa de 1 bar

4.2.2. Diámetro nominal de la tubería lateral portagoteros

Este valor se obtiene del manual del fabricante, para los ramales portagoteros se deben emplear tuberías flexibles de polietileno de baja densidad. En Tabla 8 se encuentra la información técnica del diámetro nominal y diámetro interno de la tubería, ambas medidas están en milímetros.

Tabla 8. Información técnica de la tubería portagoteros. PE 32, PN 0.6 MPa (6 bar).

D.N	D.I	Espesor (mm)	PESO	m/ ROLLO	CÓDIGO
12	10	1	0,037	500	5100120
16	13,6	1,2	0,058	400	5136160
16	13,4	1,3	0,062	400	5134160
18	15,5	1,25	0,071	300	5155180
20	17,6	1,2	0,074	200	5176200
20	17,2	1,4	0,085	200	5172200

Para el diseño de la tubería lateral se realiza el cálculo de la pérdida de carga con tres diámetros internos de tubería de 10, 13.6 y 17.6 milímetros.

4.2.3. Criterio de diseño

El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo, limita la variación máxima de caudal a un 10 % en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros [6]. Esta norma de diseño se traslada a la ecuación de descarga de un gotero, cuya expresión general es:

$$\dot{q}_{emisor} = K \times h^x \quad (12)$$

Donde:

\dot{q}_{emisor} : caudal de descarga del gotero [l/h].

K : coeficiente de flujo, es un valor característico de cada emisor y es dado por el fabricante.

h : presión de operación del gotero [m.c.a].

x : exponente de descarga del gotero, es un valor dado por el fabricante.

Derivando (12) y tomando la variación citada de caudal del 10 % (0,1) se obtiene la siguiente igualdad.

$$dh = \frac{0,1}{x} \times h \quad (13)$$

La expresión anterior representa la máxima variación de presión que puede existir entre dos emisores cualesquiera de la unidad de riego en terreno llano y sin considerar por tanto las pendientes, siendo (h) la presión de funcionamiento del gotero y (x) su exponente de descarga.

Dicho esto, la máxima diferencia de presión entre el gotero con mayor y menor presión en la unidad de riego no debe superar el criterio de diseño, reemplazando en (13) se obtiene la siguiente inecuación.

$$(P_{max} - P_{min}) \leq \frac{0,1}{x} \times h \quad (14)$$

El término a la izquierda de la inecuación representa la máxima diferencia de presiones entre goteros de la unidad de riego, siendo el gotero de mayor presión el que se encuentra ubicado al inicio del primer lateral portagoteros de la unidad y el gotero con menor presión el que se encuentra ubicado al final del ultimo lateral portagoteros de la unidad, en la Figura 7 se muestra gráficamente la posición de los goteros mencionados anteriormente.

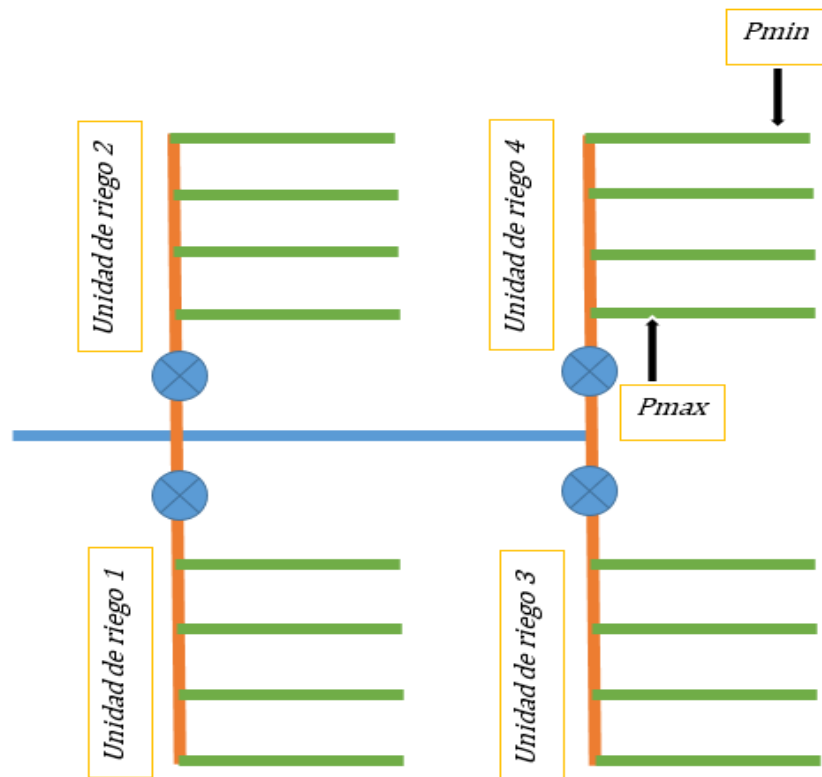


Figura 7. Posición de los goteros con mayor y menor presión en la unidad de riego 4

De Figura 7. La línea color azul representa la tubería de conducción, las líneas color naranja representan la tubería de distribución y las líneas color verde representan las tuberías laterales portagoteros.

La diferencia de presiones en la unidad de riego, equivale a la suma de la pérdida de carga producida por la tubería de distribución (hd) y la producida en la tubería portagoteros (hl), de forma que:

$$P_{max} - P_{min} = hd + hl \quad (15)$$

$$P_{max} - P_{min} = \Delta Hu \quad (16)$$

Donde:

$$\Delta Hu = hd + hl. \text{ (m.c.a)}$$

Reemplazando (16) en (14) se obtiene.

$$\Delta Hu \leq \frac{0,1}{x} \times h \quad (17)$$

De Tabla 7 se extrae x cuyo valor es 0,48 y h que es 1 bar (10 m.c.a), reemplazando estos valores en (8) se define el criterio de diseño.

$$\Delta Hu \leq 2,08 \text{ m. c. a}$$

Este resultado implica que la suma de la pérdida de carga en la tubería portagoteros y la tubería de distribución debe ser menor o igual que el criterio fijado, este es 2,08 m.c.a.

4.2.4. Criterio de diseño de la tubería lateral portagoteros (Crl)

El criterio de diseño del lateral portagoteros se basa en que el 55 % del valor del criterio de diseño debe ocurrir en los laterales portagoteros y el restante 45 % debe darse en la tubería de distribución [6], dando como resultado la siguiente expresión:

$$Crl = 2,08 \text{ m. c. a} \times 0,55 = 1,14 \text{ m. c. a}$$

El resultado anterior implica que la pérdida de carga admisible en el lateral de riego no debe ser mayor a 1,14 m.c.a, que corresponde al 55 % del criterio de diseño.

4.2.5. Caudal de la tubería lateral portagoteros (Q_{lat})

Para calcular el caudal del lateral portagoteros, se usa la siguiente ecuación.

$$Q_{lat} = N_e \times \dot{q}_{emisor} \quad (18)$$

Donde:

N_e : número de emisores, dato encontrado en el numeral 4.1.1 y cuyo valor es 30.

\dot{q}_{emisor} : caudal de descarga del gotero, valores tomados de la Tabla 7.

En Tabla 9 se encuentran los valores del caudal de la tubería lateral portagoteros para los cuatro valores de caudal de emisor.

Tabla 9. Caudal de la tubería lateral portagoteros para 4 valores de caudal de goteros.

\dot{q}_{emisor} [l/h]	Q_{lat} [l/h]	\dot{Q}_{lat} [m ³ /s]
2	60	$1,66 \times 10^{-5}$
4	120	$3,33 \times 10^{-5}$
8	240	$6,66 \times 10^{-5}$
14	420	$1,16 \times 10^{-4}$

4.2.6. Pérdida de carga en la tubería lateral portagoteros (h_l)

Se lleva a cabo el cálculo de la pérdida de carga hidráulica o pérdida de presión, debido a la fricción del fluido a lo largo de la tubería lateral portagoteros, para tal fin se usa la siguiente ecuación:

$$h_l = J \times F \times L_f \quad (19)$$

Donde:

J : pérdidas de carga unitaria. [m.c.a/m]

F : coeficiente de Christiansen.

L_f : longitud ficticia. [m]

Para calcular J , se toma la fórmula de Blassius para una temperatura del agua de 20° C.

$$J = 0,473 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (20)$$

Donde:

Q : caudal que circula por la tubería [l/h], en este caso es igual al caudal de la tubería portagoteros, estos valores se encuentran en Tabla 9.

D: diámetro interno de la tubería [mm]. Valores tomados de la columna D.I de la Tabla 8.

El factor de Christiansen, es un coeficiente que estima el efecto de múltiples salidas de descarga en la tubería portagoteros a causa de los emisores conectados; esto provoca que gradualmente el caudal de entrada en la tubería se reduzca a medida que este avanza a lo largo de la misma, alimentado los emisores, de tal manera que al final de la tubería el caudal es sólo una pequeña fracción del caudal inicial. En Tabla 10 se hace la selección de este factor.

Tabla 10. Valores del coeficiente de Christiansen (Montalvo, T 1989).

n	$l_o = 1$					n	$l_o = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,388	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,341
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,356	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,339
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,372	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
>300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-

n = Número de salidas

$\beta=1,75$. Blasius, Cruciani-Margaritora

$\beta=1,786$. Scimemi

$\beta=1,80$. Iso, Veronese-Daite

$\beta=1,85$. Hazen-Williams

$\beta=1,90$. Scobey

$\beta=2,00$. Manning, Darcy-Weisbach

En la práctica se toma los siguientes valores de β :

$\beta=1,75$ para tuberías de PE.

$\beta=1,80$ para tubería de PVC

$\beta=1,85-1,90$ para tubería de aluminio

Para la selección del coeficiente se tiene el valor de $\beta = 1,75$, que es para tuberías de PE y un $n = 30$, que corresponde al número de goteros, con estos dos valores se busca en la tabla $l_o = 1/2$ ya que el primer gotero va insertado a los 10 cm, que es la mitad de la distancia entre goteros. El valor de F para el cálculo es 0,370.

La longitud ficticia del lateral (L_f), será la suma de la longitud de la tubería portagoteros (L_l) más una longitud equivalente (L_e) producida por la inserción o integración de los goteros en la tubería. Los goteros originan importantes pérdidas de carga en el ramal y pueden cuantificarse como una longitud equivalente de tubería. Por tanto:

$$L_f = L_l + L_e \quad (21)$$

Donde:

L_l : Longitud de la tubería portagoteros, su valor corresponde a 6,43 metros.

$$L_e = 0,25 \frac{\text{metros}}{\text{gotero}} \times N_e$$

Reemplazando estos valores en (21) se obtiene:

$$L_f = 6,43 \text{ m} + 0,25 \frac{\text{m}}{\text{goteros}} \times 30 \text{ goteros} = 13,93 \text{ m}$$

Como criterio de buena práctica, se recomienda que, para tuberías de naturaleza termoplásticas, la velocidad que alcance el flujo de agua por el interior de la tubería se encuentre en el rango de 0,5 a 3,5 m/s [6], claro esto, se calcula la velocidad del fluido al interior de la tubería para los 4 caudales con los 3 diámetros internos y así poder descartar las combinaciones que no cumplan con la recomendación de velocidad del fluido, en Tabla 11 se encuentran las velocidades al interior de la tubería.

Tabla 11. Velocidades al interior de la tubería para 3 valores de diámetro interno y 4 valores de caudal de tubería portagoteros.

Diámetro interno [mm]	Caudal de la tubería lateral portagoteros [l/h]	Velocidad del fluido [m/s]
10	60	0,212
	120	0,425
	240	0,849
	420	1,486
13,6	60	0,115
	120	0,230
	240	0,459
	420	0,804
17,6	60	0,069
	120	0,137
	240	0,274
	420	0,480

Con los resultados obtenidos en Tabla 10 se descartan las combinaciones que no cumplen con la recomendación de velocidad de flujo al interior de la tubería. El cálculo de la pérdida de carga en la tubería portagoteros se hará con las siguientes combinaciones:

- Diámetro interno 10 mm y caudales de 240 y 420 l/h.
- Diámetro interno de 13,6 mm y caudales de 240 y 420 l/h.
- Diámetro interno de 17,6 mm y caudal de 420 l/h.

En Tabla 12 se encuentran los resultados de la pérdida de carga en la tubería portagoteros para las combinaciones nombradas con anterioridad.

Tabla 12. Valores de la pérdida de carga producida en la tubería lateral portagoteros para las combinaciones que cumplen con la velocidad al interior de la tubería.

Diámetro interno [mm]	Caudal de la tubería portagoteros [l/h]	Coefficiente de Christiansen F	Longitud ficticia [m]	Pérdida de carga tubería lateral portagoteros [m.c.a]
10	240	0,37	13,93	0,634
	420			1,689
13,6	240			0,147
	420			0,392
17,6	420			0,115

4.2.7. Evaluación de la pérdida de carga

Basado en los resultados encontrados en Tabla 11, se procede a la selección del diámetro de tubería y el caudal de gotero más adecuado. Para el caso en estudio, se selecciona una tubería de 13,6 mm de diámetro interior y un gotero con caudal de descarga de 8 l/h, a continuación, se compara la pérdida de carga producida por esta combinación, con el criterio de diseño de la tubería lateral portagoteros:

$$0,147 \text{ m.c.a} < 1,14 \text{ m.c.a}$$

Se concluye que, las pérdidas de carga en el lateral portagoteros son satisfactorias para el diseño.

4.2.8. Presión necesaria en el origen del lateral (Hlo)

Este valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$H_{lo} = h + 0,77 \times hl \pm \frac{z}{2} \quad (22)$$

Donde:

h: presión de operación, cuyo valor es 10 m.c.a

hl: pérdida de carga en la tubería lateral portagoteros, cuyo valor es 0,634 m.c.a

z: desnivel del terreno (m), para el presente caso su valor es 0 ya que la tubería está totalmente horizontal.

Reemplazando estos valores en (22) se obtiene:

$$H_{lo} = 10 \text{ m.c.a} + (0,77) \times 0,147 \text{ m.c.a} \pm \frac{0}{2} = 10,113 \text{ m.c.a}$$

4.3. Diseño de la tubería de distribución

Se realiza el diseño de la tubería de distribución mediante el uso de un criterio de diseño, tal como se hizo para la tubería portagoteros.

4.3.1. Criterio de diseño de la tubería de distribución (Crd)

El criterio de diseño de la tubería de distribución, se obtiene mediante la diferencia entre el criterio de diseño y el valor de la pérdida de carga (hl) dando como resultado la siguiente expresión:

$$Crd = 2,08 \text{ m.c.a} - 0,147 \text{ m.c.a} = 1,93 \text{ m.c.a}$$

El resultado anterior implica que la pérdida de carga admisible en tubería de distribución no debe ser mayor 1,93 m.c.a.

4.3.2. Caudal de la tubería de distribución (Qdis)

Para determinar el caudal que circula por la tubería de distribución se hace uso de la siguiente formula:

$$Q_{dis} = Nl \times Q_{lat} \quad (23)$$

Donde:

Nl: número de laterales, cuyo valor es 3.

Qlat: caudal en la tubería portagoteros, cuyo valor 240 l/h.

Reemplazando estos valores en (23) se obtiene:

$$Q_{dis} = 3 * 240 \frac{l}{h} = 720 \frac{l}{h}$$

4.3.3. Pérdida de carga en la tubería de distribución (hd)

Para el cálculo de la pérdida de carga hidráulica o pérdida de presión debido a la fricción del fluido a lo largo de la tubería de distribución, se hizo uso de la de las ecuaciones (19) y (20).

Para determinar el coeficiente de Christiansen, se tiene el valor de $\beta = 1,75$ que es para tuberías de PE y un $n = 3$, que corresponde al número de laterales, con estos dos valores se busca en la tabla $Io = I$, ya que el primer lateral va insertado a los 43 cm. El valor de F para el cálculo es 0,546.

La longitud ficticia de la tubería de distribución (L_f) será la suma de la longitud de la tubería distribución (L_d) más una longitud equivalente (L_e) producida por la inserción de las tuberías portagoteros.

$$L_f = L_d + L_e \quad (21)$$

Donde:

Ld: longitud de la tubería de distribución, este dato es tomado de la Figura 6a. y su valor es de 1,60 m.

$$L_e = 0,34 \frac{\text{metros}}{\text{lateral}} \times Nl$$

Reemplazando estos valores en (21) se obtiene:

$$L_f = 1,60 \text{ m} + 0,34 \frac{\text{m}}{\text{lateral}} \cdot 3 \text{ laterales} = 2,62 \text{ m}$$

En Tabla 12 se encuentran los resultados de la pérdida de carga en la tubería de distribución para tres valores de diámetro interno.

Tabla 13. Valores de la pérdida de carga producida en la tubería de distribución para 3 valores de diámetro interno.

Diámetro interno [mm]	Caudal de la tubería de distribución [l/h]	Coefficiente de Christiansen F	Longitud ficticia [m]	Pérdida de carga tubería de distribución [m.c.a]
10	720	0,546	2,62	1,204
13,6	720			0,279
17,6	720			0,082

4.3.4. Evaluación de la pérdida de carga

De acuerdo a los resultados obtenidos en Tabla 12, el diámetro que se usa para la tubería de distribución es de 13,6 mm, se compara la pérdida de carga producida por este con el criterio de diseño Crd.

$$0,279 \text{ m.c.a} < 1,93 \text{ m.c.a}$$

Se concluye que, las pérdidas de carga en la tubería de distribución son satisfactorias para el diseño.

4.3.5. Presión necesaria en el origen de la tubería de distribución (Hdo)

Este valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$Hdo = Hlo + 0,77 \times hd \pm \frac{z}{2} \quad (24)$$

Donde:

Hlo: presión en el origen de la tubería lateral portagoteros, su valor es 10,113 m.c.a

hd: pérdida de carga en tubería de distribución, cuyo valor es 0,279 m.c.a

z: desnivel del terreno, este dato es igual a la longitud de la tubería de distribución ya que esta se encuentra en posición vertical.

Reemplazando estos valores en (24) se obtiene:

$$Hdo = 10,113 \text{ m.c.a} + (0,77) \times 0,279 \text{ m.c.a} + \frac{1,60}{2} = 11,13 \text{ m.c.a}$$

4.4. Pérdida de carga en la tubería de conducción (h_c)

Se realiza el cálculo de la pérdida de carga hidráulica o pérdida de presión debido a la fricción del fluido a lo largo de la tubería de conducción, mediante el uso de las ecuaciones (19) y (20).

Para la selección del coeficiente de Christiansen se tiene el valor de $\beta = 1,75$ que es para tuberías de PE y un $n = 1$, que corresponde al número de tuberías de distribución, con estos dos valores se busca en la tabla $Io = I$. El valor de F para el cálculo es 1.

La longitud ficticia de la tubería de distribución (L_f) es la longitud de la tubería de conducción (L_c), cuyo valor es 1,25 metros según Figura 6a, el diámetro interno seleccionado para la tubería de distribución es de 13,6 mm.

Reemplazando estos valores en (19) y (20) se obtiene:

$$h_c = 0,473 \times \frac{(720)^{1,75}}{(13,6)^{4,75}} \times 1 \times 1,25 = 0,244 \text{ m. c. a}$$

4.5. Presión necesaria a la salida del cabezal (H_{co})

Este valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$H_{co} = H_{do} + h_c \quad (25)$$

Donde:

H_{do} : presión en el origen de la tubería de distribución, cuyo valor es 11,13 m.c.a

h_c : pérdida de carga en tubería de conducción, cuyo valor es 0,244 m.c.a.

Reemplazando estos valores en (25) se obtiene:

$$H_{co} = 11,13 \text{ m. c. a} + 0,244 \text{ m. c. a} = 11,374 \text{ m. c. a}$$

4.6. Pérdida de carga en el cabezal de riego (H_{cr})

Como se observa en el capítulo 1, el cabezal de riego está compuesto por varios elementos que permiten medir, filtrar y fertilizar el agua, pero para el presente caso, sólo se hace uso del sistema de filtrado y medición, ya que, al tratarse de una aplicación muy pequeña, resulta inviable la utilización de un sistema de fertirriego, pues este se puede hacer manualmente.

El filtro que se usa, es un *filtro de malla en línea* para tubería de 16 mm, marca Rain, con un tamaño de malla de 80 MESH. Según el catalogo del fabricante, la pérdida de carga producida por el filtro cuando ya se encuentra saturado es de 0,5 m.c.a.

El caudalimetro que se usa, es un CMS-K24 mini digital, que produce una pérdida de carga según el fabricante de 0,2 m.c.a, sumando las pérdidas de carga en el cabezal se obtiene:

$$H_{cr} = 0,5 \text{ m.c.a} + 0,2 \text{ m.c.a} = 0,7 \text{ m.c.a}$$

4.7. Altura manométrica total (Hm)

Este valor se obtiene mediante la expresión:

$$H_m = H_{co} + H_{cr} \pm Z \quad (26)$$

Donde:

H_{co}: presión necesaria a la salida del cabezal, cuyo valor es 11,374 m.c.a.

H_{rc}: pérdida de carga en el cabezal de riego, cuyo valor es 0,7 m.c.a.

Z: diferencia de nivel entre el depósito y el ultimo lateral de riego, cuyo valor es 1 m.c.a

Reemplazando estos valores en (26) se obtiene:

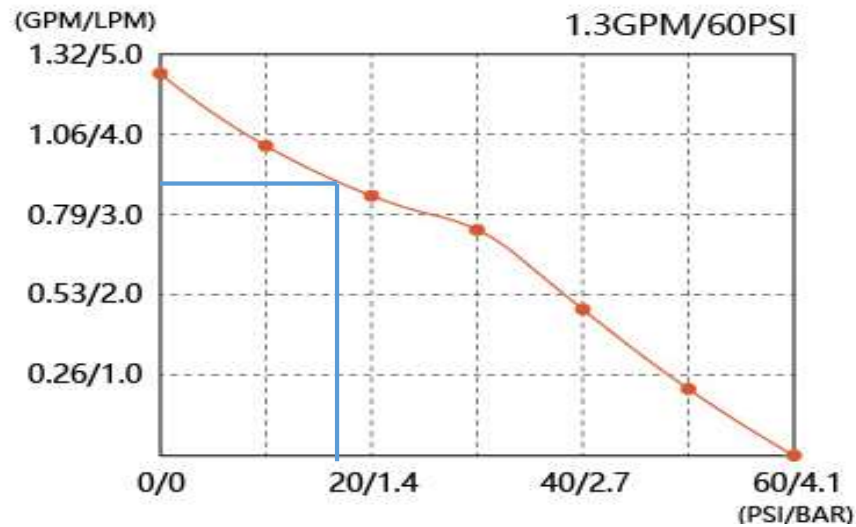
$$H_m = 11,374 \text{ m.c.a} + 0,7 \text{ m.c.a} + 1 \text{ m.c.a} = 13,074 \text{ m.c.a}$$

4.8. Selección de la bomba

Es necesario seleccionar una bomba que supla las necesidades del sistema, dichas necesidades son un caudal 186,93 l/h valor tomado de Tabla 6, que corresponde al caudal para un gotero de 8 l/h que fue el seleccionado para el diseño, la presión manométrica que debe tener la bomba debe ser igual o superior a 13,43 m.c.a.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, la bomba que se usa es una **SEAFLO 22 series DC diaphragm pump 24 V** [12], en Figura 8 se muestra la curva de caudal vs cabeza de la bomba.

Figura 8. Curva caudal vs cabeza bomba SEAFLO 22 series [12].



4.9. Selección del reservorio

El reservorio usado para el sistema debe tener la capacidad de almacenar la suficiente cantidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas requeridas por el cultivo, en el numeral 3.1.9 se determina el volumen de agua que se debe aplicarse al cultivo cada intervalo de riego, dicho volumen es de 28 litros, con base a este resultado se ha seleccionado un depósito de 30 galones (114 litros), al cual se debe instalar un adaptador para instalar la succión de la bomba. En el anexo A se encuentra el plano de la instalación del reservorio.

CAPÍTULO 5. SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO

5.1. Introducción al sistema de riego automático

Se pretende hacer el diseño del sistema de control con base a un sistema **ARDUINO™**, no es más que una plataforma de hardware libre, basada en una placa con microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), se muestra paso a paso todo el proceso llevado, junto con la selección de materiales y el desarrollo de la conexión.

5.2. Proceso de prototipado

Para la realización de este ítem se proponen dos pasos, los cuales serán llamados: prototipo mínimo y diseño incremental.

5.2.1. Prototipo mínimo

Es la descripción a grandes rasgos sobre lo que se hace y cómo se ataca el problema; observe Figura 9.

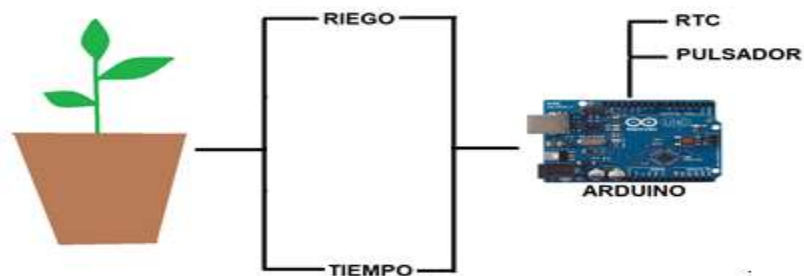


Figura 9. Esquema preliminar del diseño de riego automático.

Teniendo clara la estructura del sistema de riego automático, se plantean los componentes esenciales:

- *Arduino Uno* (referencia seleccionada, puede ser otra referencia).
- Protoboard (placa de inserción).
- Cables de conexión.
- Pulsador (operador eléctrico).

- Resistencia eléctrica de 10 k Ω o mayor (para el pulsador)
- RTC DS3231 (controlador de tiempo).
- Módulo relé srd-05vdc-sl-c (interruptor eléctrico).
- Cable de red eléctrica con enchufe macho y hembra.
- Bomba de agua SEAFLO 22 series DC diaphragm pump 24 V.
- Conversor USB AC/DC a 5 V a 1.2 A (para la alimentación del Arduino).
- Conversor AC/DC a 24 V a 2.5 A (para la alimentación de la bomba).
- Cable USB tipo AB (conexión Arduino al conversor AC/DC).

5.2.2. Diseño incremental

El primer paso para el diseño incremental, es plantear el algoritmo. Para esto, se proponen dos diagramas de flujo, para un riego manual y un riego automático.

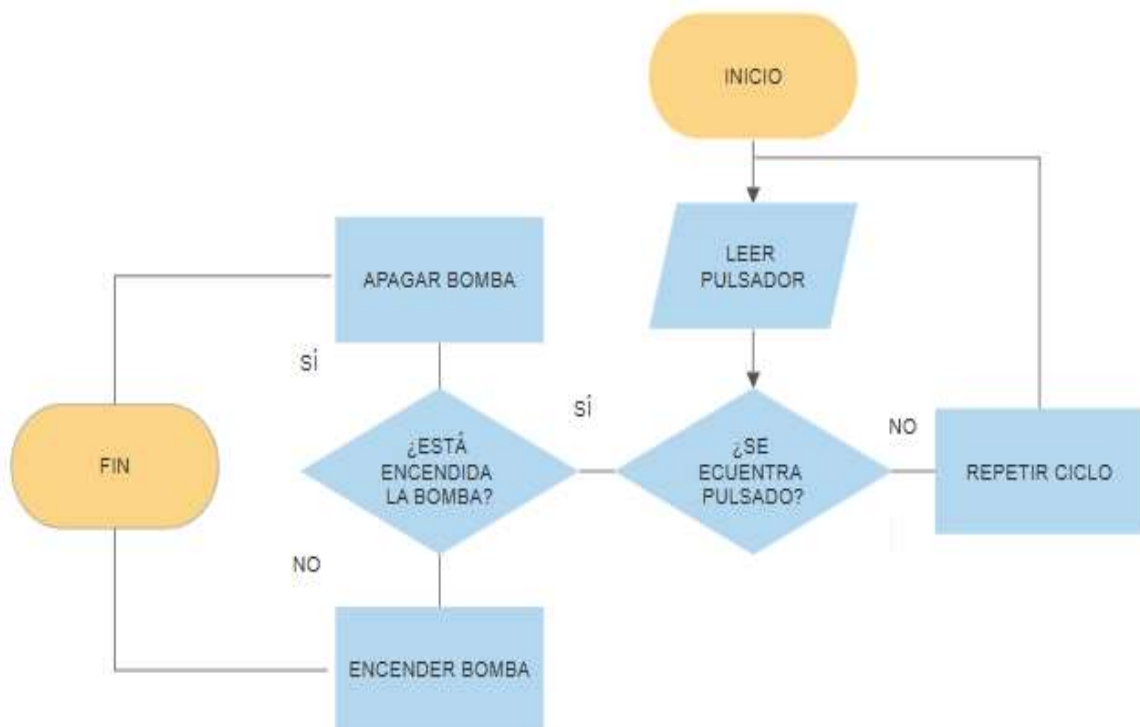


Figura 10. Diagrama de flujo para riego manual.

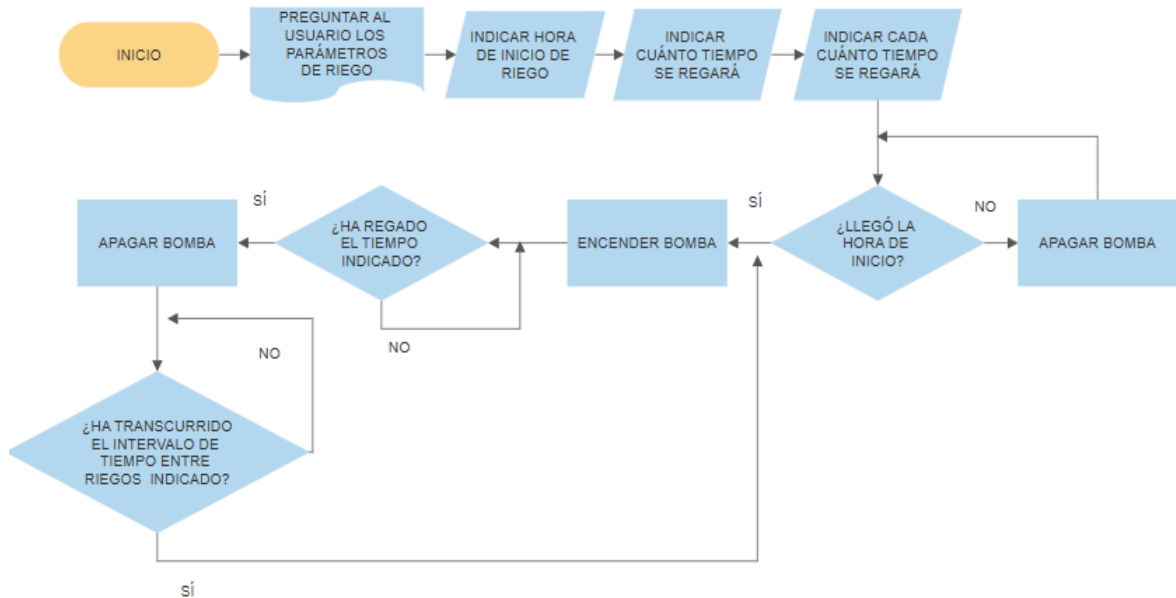


Figura 11. Diagrama de flujo para riego automático.

5.3. Circuito eléctrico

De la sección 5.2.1. se toma la lista de materiales mínimos y se arma el circuito concerniente al sistema automático de riego.

Partiendo del *Arduino Uno*, su selección es debida a la facilidad de obtención en el mercado, además de ser el más sencillo de usar, conteniendo la mayor información para aplicaciones, además de ser el más económico, cuenta con un chip microcontrolador ATmega328p.

La Protoboard y los cables de conexión, son seleccionados para conectar los componentes al *Arduino Uno*, su característica más importante radica en la facilidad de conexión, ya que no es necesario soldar pines ni cables.

El módulo relé, es seleccionado para encender y apagar la bomba, pues cumple con la función de interruptor de corriente eléctrica; se conecta a un pin digital de la placa *Arduino*, teniendo claro que este tipo de pines sólo poseen dos estados: High o encendido (5v) y Low o apagado (0v) y a dos pines de alimentación, 5v y tierra. Este a su vez, debe ir acompañado con el cable de red eléctrica, enchufe macho y hembra.

La bomba de agua, *SEAFLO 22 series DC diaphragm pump 24 V*, es seleccionada para trabajar bajo los parámetros descritos en la sección 4.8.

El RTC DS3231 (controlador de tiempo), es un reloj electrónico, permite mantener la hora y la fecha, su selección se debe a que ésta referencia posee un sócalo para

situar una pila, accede a una mejor autonomía y evita desconfiguraciones. Utiliza el protocolo I2C, el cual consta de un bus de datos que permite conectar decenas de componentes tan sólo con 2 pines del Arduino.

El pulsador actúa como interruptor, esto con el fin de permitir el paso o no de corriente, activando y desactivando la bomba, también funciona como medio de precaución en caso de necesitar un paro de emergencia, a su vez debe ir acompañado de una resistencia eléctrica de 10 k Ω , cuya función es evitar indeterminaciones en el pin digital, es decir, que en todo momento haya un estado High o Low, y no uno intermedio.

El Conversor AC/DC a 5v y el cable USB, son para alimentar el *Arduino* en su funcionamiento.

Para la documentación del montaje, se hace uso del software *Fritzing 0.9.3b* By **Fritzing** en la realización del esquema.

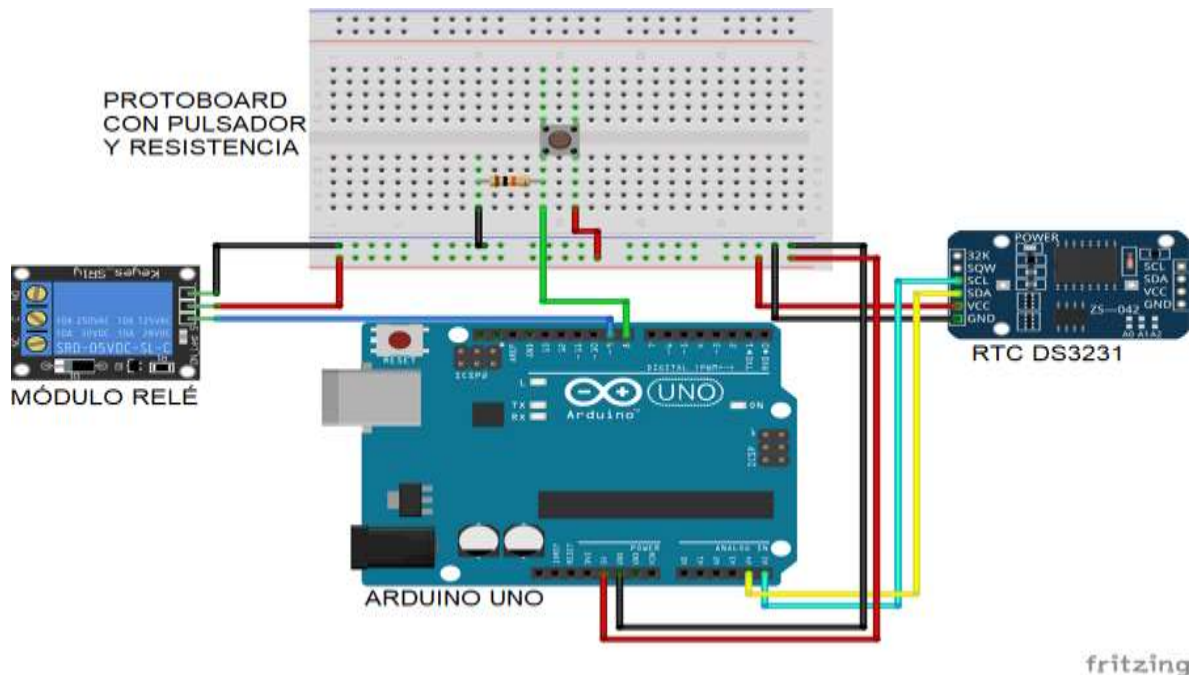


Figura 12. Montaje del circuito eléctrico.

Nota: El paso a paso del montaje del circuito eléctrico se encuentra en el Anexo C.

5.4. Programación del sistema de riego

En este paso se programa la lógica establecida en la sección de *Diseño Incremental* (apartado 5.2.2) logrando un sistema de riego manual y automático, además, la

programación para el RTC, partiendo del algoritmo explícito en los diagramas de flujo de dicha sección. Es necesario el uso de Arduino IDE 1.8.12 By **ARDUINO™**. Se pretende subir un algoritmo mixto al Arduino (automático y manual) junto con el algoritmo cronológico para el RTC.

Teniendo el control mixto y con él, un control automático se puede modificar según las necesidades del cultivo, esto con los parámetros de riego (día y hora), como también los tiempos de riego en milisegundos (ejemplo: 10000 ms = 10 s). Todo lo anterior se encuentra debidamente comentado y ordenado. Además, se anexa el código para el RTC, en el que sólo se debe seguir las instrucciones y completar en el código la hora y fecha actual; por otro lado, el RTC DS3231 posee una pila de botón que no permite desconfiguraciones horarias.

Nota: El código tipo C para el sistema de riego manual, programación del RTC y automático se encuentra en el Anexo D.

5.5. Conexión con red eléctrica

Se hace uso del módulo relé, el cual sirve de interruptor para la bomba, esto a través de la programación hecha con el Arduino y algunas bases de electricidad, apoyados del RETIE (reglamento técnico de instalaciones en Colombia).

Según el RETIE, para instalaciones de 120 V se maneja la siguiente nomenclatura en los colores del cable eléctrico: Negro (fase), blanco (neutro) y verde (tierra).



Figura 13. Norma eléctrica según el RETIE para instalaciones de 120 V.

Existen dos formas de interrumpir la corriente eléctrica mediante el relé, estas son: *forma normalmente abierta* y *normalmente cerrada*. En este caso, debido a que el sistema está programado para activar el modulo con un estado High y desactivarlo con Low, se toma la forma normalmente abierta.

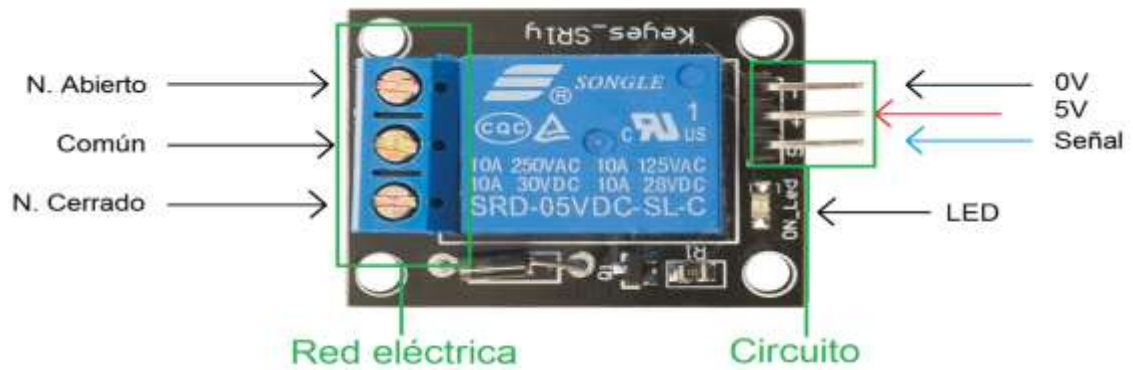


Figura 14. Conexiones del módulo relé.

Como la pieza energizada de una red eléctrica es la fase (+), se trabaja sólo con ella entre el módulo relé y la red eléctrica de 120 V y **NO** con el neutro (-), así en las conexiones AC no exista polaridad y al interrumpir el neutro o la fase para detener el sistema pueda dar los mismos resultados, es peligroso que la pieza que se interrumpiera no sea la fase (+) pues el sistema queda energizado, provocando riesgo por electrocución, de modo que, se procede a instalar el relé en un cable de red eléctrica con enchufe macho y hembra, de forma normalmente abierta.

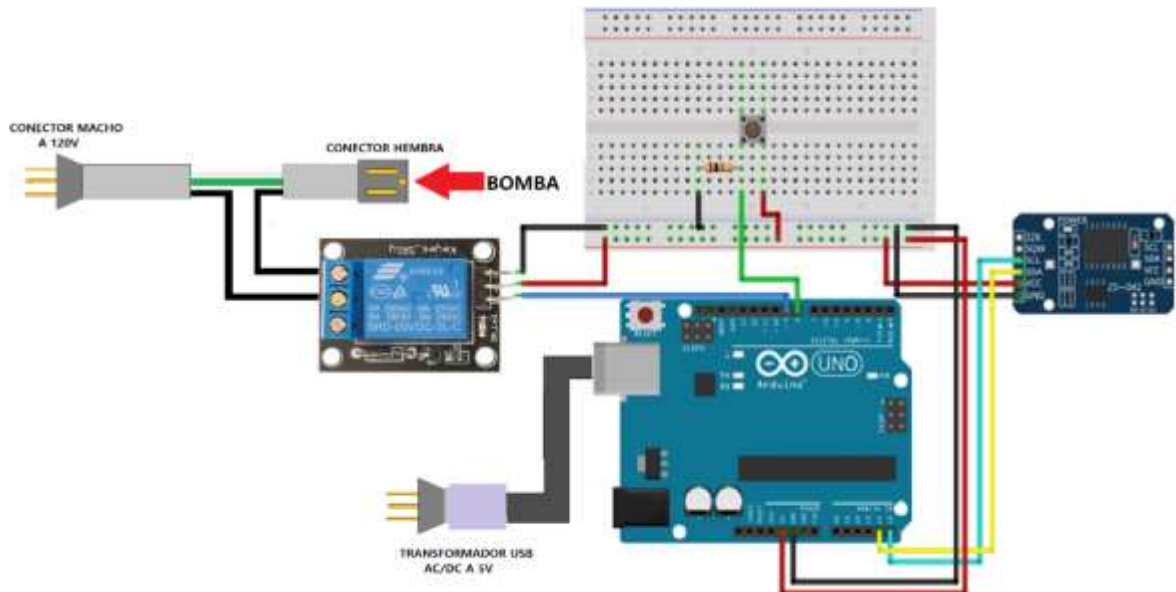


Figura 15. Conexión final del sistema automático.

Conectando la bomba en el enchufe hembra descrito en la Figura 15. y los enchufes machos a una red de energía domiciliaria a 120 V, se finaliza el sistema de control.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA

Teniendo claro que, cada planta posee un requerimiento hídrico diferente, el análisis varía dependiendo del tipo de cultivo, ya que los tiempos de funcionamiento de la bomba cambian. Por esta razón, se opta por analizar las hortalizas pequeñas, de acuerdo al Capítulo 3, los requerimientos son:

- Intervalo de riego: cada 4 días.
- Volumen de agua por riego: 28 litros.
- Tiempo de riego: 0,15 h.

Según estas estimaciones, y con el diseño hidráulico del Capítulo 4, se selecciona la bomba: **SEAFLO 22 series DC diaphragm pump 24 V**.

Tabla 14. Tabla de configuraciones del fabricante de la bomba SEAFLO 22 series DC diaphragm pump [12].

Modelo	voltaje	Flujo abierto (GPM / LPM)	Tipo de control	Max Draw	Presión de cierre (PSI / BAR)	Valvulas	Diafragma	Puertos	Conexiones de cables
SFDP1-013-060-22	12V	1.3 / 5.0	Demanda y Bypass	5.0A	60 / 4.1	EPDM	Santoprene	Púa de 3/8 "	2 pines / conductores
SFDP2-013-060-22	24V	1.3 / 5.0	Demanda y Bypass	2.5A	60 / 4.1	EPDM	Santoprene	Púa de 3/8 "	2 pines / conductores
SFDP1-013-100-22	12V	1.3 / 5.0	Demanda y Bypass	6.0A	100 / 6,9	EPDM	Santoprene	Púa de 3/8 "	2 pines / conductores
SFDP2-013-100-22	24V	1.3 / 5.0	Demanda y Bypass	3.0A	100 / 6,9	EPDM	Santoprene	Púa de 3/8 "	2 pines / conductores
SFDP1-014-080-22	12V	1.4 / 5.1	Demanda y Bypass	5.5A	80 / 5.5	EPDM	Santoprene	Púa de 3/8 "	2 pines / conductores

Se procede a calcular la potencia de la bomba para estos requerimientos.

$$P = V \times I \quad (27)$$

Donde:

P: potencia [W] [kW]

V: voltaje eléctrico [V]

I: intensidad o corriente eléctrica [A]

$$P_{Bomba} = 24 \text{ V} \times 2,5 \text{ A} = 60 \text{ W} = 0,06 \text{ kW}$$

El sistema de control del *Arduino* consume 5 V a 1,2 A.

$$P_{Arduino} = 5 \text{ V} \times 1,2 \text{ A} = 6 \text{ W} = 0,006 \text{ kW}$$

Ahora, se calcula el gasto energético para la bomba y el Arduino, teniendo en cuenta que el Arduino siempre está en funcionamiento y la bomba se activa cada 4 días por 0,15 h (9 minutos).

$$E = P \times T \quad (28)$$

Donde:

E: energía [Wh] [kWh]

P: potencia [W] [kW]

T: tiempo [h]

$E_{Bomba} = 0,06 \text{ kW} \times 0,15 \text{ h} = 0,009 \text{ kWh}$ cada 4 días. Esto se traduce en un promedio de 0,00225 kWh diario.

$$E_{Arduino} = 0,006 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 0,144 \text{ kWh cada día}$$

$$E_{TOTAL} = E_{Bomba} + E_{Arduino} = (0,00225 + 0,144) \text{ kWh}$$

$$E_{TOTAL} = 0,14625 \text{ kWh/día}$$

$$E_{TOTAL} = 4,3875 \text{ kWh/mes}$$

El valor del kWh en Colombia para el año 2020, en *régimen no subsidiado de residencia* es de: 593,57 COP.

La manutención de energía eléctrica para el huerto vertical con sistema de riego automático por goteo, oscila en **2604,28 COP** mensuales.

CONCLUSIONES

El sistema de riego por goteo permite optimizar el gasto del recurso hídrico en los cultivos, obteniendo un mejor desarrollo de la planta al mantener la humedad del suelo a la capacidad de campo o muy próximo a esta, dando como resultado una mayor y mejor producción. Como se pudo evidenciar en el desarrollo de este trabajo, es muy importante conocer las condiciones climáticas del lugar donde se va a instalar el huerto que para el presente caso se usaron las condiciones climáticas de la región del medio Cauca, también hay que tener en cuenta las características de la planta y del suelo o tierra que va a ser usada en las macetas ya que estos datos permiten determinar las necesidades hídricas del cultivo, a partir de estas necesidades se realiza el diseño hidráulico.

El diseño hidráulico juega un papel muy importante en cualquier sistema de riego ya que este es el que determina las dimensiones de la red de tuberías y los dispositivos de medición que se van a usar, esto se traduce en cuanto va a costar el montaje del sistema, por tal motivo es crucial realizar los cálculos correctamente y esto se logra teniendo unas bases fuertes sobre los conceptos básicos de la mecánica de fluidos, además de documentarse con la información técnica dada por los fabricantes de los dispositivos usados en el sistema.

Se concluye que, a partir de los resultados obtenidos en el diseño agronómico e hidráulico y el análisis de consumo, resulta viable la fabricación del huerto vertical con sistema de riego automático por goteo, pues su manutención eléctrica es muy baja, tan solo de 2064 COP mensuales. La estructura con todos sus componentes ocupa un área superficial de $1,96 \text{ m}^2$ aproximadamente, la cantidad de plantas que puede albergar la estructura es de 90 y cada planta dispone de una maceta con una superficie de $0,0314 \text{ m}^2$, si el espacio ocupado por la estructura se divide entre la superficie de la maceta se obtiene un total de 62 plantas aproximadamente, este resultado muestra que con una estructura vertical se puede aumentar en un 31,1 % la cantidad de plantas por área superficial.

RECOMENDACIONES

- Los cálculos del diseño agronómico se realizaron con datos tomados del IDEAM para la región del medio Cauca, por ende, este cálculo se tiene que volver a realizar si se desea diseñar el sistema para que opere en otra región del país, como el diseño hidráulico depende del agronómico, también se debe calcular con los nuevos parámetros.
- La estructura debe ser instalada en un lugar que cuente con una superficie de aproximadamente 3,5 metros de largo por 1 metro de ancho, dicho lugar debe permitir el ingreso de luz solar la mayor parte del día y contar con una adecuada ventilación que permita formar un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas.
- Las abrazaderas que soportan las tuberías deben ser apretadas hasta que logren sostener la manguera sin tanto ajuste, ya que estas solo sirven de guía; ajustar mucho las abrazaderas puede conllevar a reducir el diámetro de la manguera en esa sección y ocasionar pérdidas de carga no contempladas en el diseño hidráulico dando como resultado un funcionamiento inadecuado del sistema.
- El filtro de malla debe ser limpiado cada tres meses, este filtro posee una rosca la cual se puede aflojar manualmente, al interior del elemento roscado se encuentra la malla, esta se debe retirar y lavar con agua limpia sin introducir objetos que puedan dañarla.
- El caudalímetro funciona con 2 pilas AA, las cuales se deben cambiar cuando el dispositivo deje de funcionar. Este dispositivo es indispensable ya que es el único elemento de medición del sistema e indica el caudal que va a circular por el sistema después de estrangular la válvula a la salida de la bomba. Con este caudal se puede determinar la presión de operación de la bomba en la curva Q vs H suministrada por el fabricante.
- El reservorio debe reabastecerse con agua después de que el sistema realice dos operaciones de riego, o sea que cada 8 días se deberá revisar el nivel del depósito y llenarlo por completo, también se debe revisar que cuando se llene el reservorio no exista en su interior algún material extraño que pueda dañar la bomba o tapar las tuberías.

- Se puede optar por algún recubrimiento anticorrosivo para la estructura y la base del reservorio; ya que, al estar a la intemperie su desgaste y corrosión serán mayores.
- Al momento del ensamble de las conexiones eléctricas, se recomienda probar con un multímetro el enchufe de la red doméstica, para así tener claridad de cuál es la fase y el neutro (ver numeral 5.5).
- Se puede usar cualquier versión de Arduino, pero se recomienda trabajar con Arduino Uno, no es tan costoso y posee una gran cantidad de información técnica para el usuario.
- Se recomienda trabajar con RTC DS3231, este posee un socket que permite el uso de una pila de botón, evitando desconfiguraciones.
- Al terminar el ensamble de control, es recomendable introducirlo en un *Tupper* plástico o si se prefiere, crear un modelo de caja en plástico ABS por impresión 3D. Esto para evitar salpicaduras, manteniendo seco en todo momento el sistema de control.
- No se recomienda trabajar con una resistencia eléctrica menor a 10 k Ω , esta podría no ser suficiente para evitar las indeterminaciones.
- En ningún caso, los dos conversores AC/DC pueden ser sustituidos por otros de diferentes características, ni pueden ser trocados; este error podría quemar el Arduino, a 24 V para la bomba y a 5 V para el Arduino.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fuentes, J. (2003) *Técnicas de riego 4a edición*. España: Ediciones mundiprensa, S.A. pp 13-300
- [2] Liotta, M. (2015) *Manual de capacitación: riego por goteo*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf Consultado: 12/04/20
- [3] Geotextiles no tejidos, especificaciones técnicas 1. Recuperado de: http://www.harro.cl/pdf/geotextil_PAVCO.pdf Consultado: 15/04/20
- [4] Gómez, J. (2017) *Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (ETo) para Colombia*. Colombia: IDEAM.
- [5] Evapotranspiración del cultivo. *guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf> Consultado: 16/05/20
- [6] Mongue, M. (2018) *Presiones de diseño en unidades de riego por goteo*. Recuperado: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/presiones-diseno-unidades-riego-goteo> Consultado: 15/04/20
- [7] Organización de las naciones unidas ONU. (2011). *Agua y agricultura en la economía verde*. Recuperado de: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/info_brief_water_and_agriculture_spa.pdf Consultado: 19/08/2019
- [8] Organización de las naciones unidas ONU. (2017). *La población mundial*. Nueva York. Recuperado de: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html> Consultado: 19/08/2019
- [9] Enciclopedia en red cubana EcuRed. *El riego y drenaje*. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Discusi%C3%B3n:El_Riego_y_Drenaje. Consultado: 19/08/2019
- [10] Departamento nacional de planeación colombiano DNP. (2016). Colombianos botan 9,76 millones de toneladas de comida al año. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-a%C3%B1o.aspx> Consultado: 19/08/2019

[11] Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Agricultura urbana. Recuperado de: <http://www.fao.org/urban-agriculture/es/>
Consultado: 22/08/2019

[12] SEAFLO®. Bomba de diafragma de CC de la serie SEAFLO 22 12V / 24V 2.0-5.0LPM 17-120PSI. Recuperado de: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/602.html> Consultado: 22/05/2020

ANEXOS

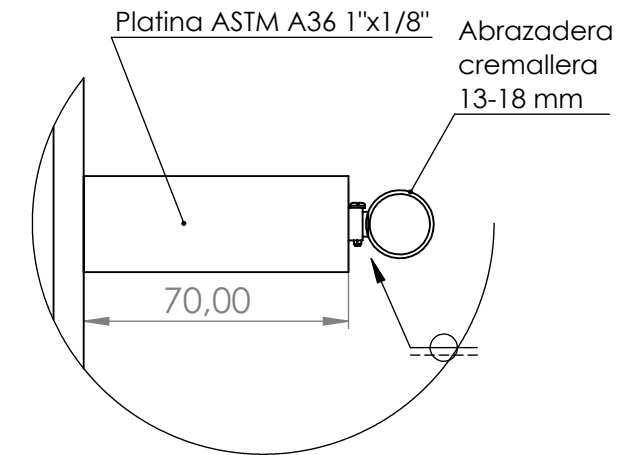
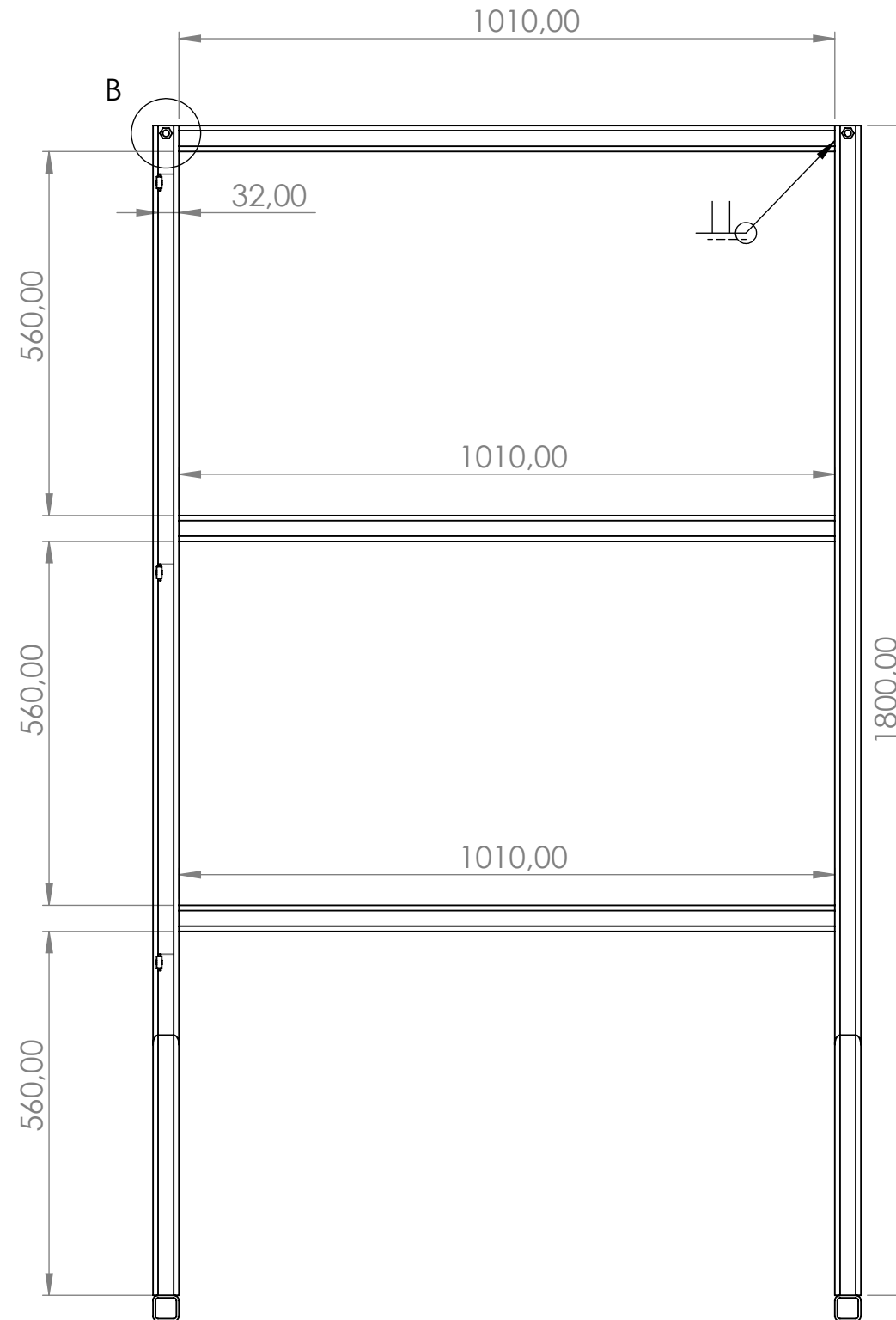
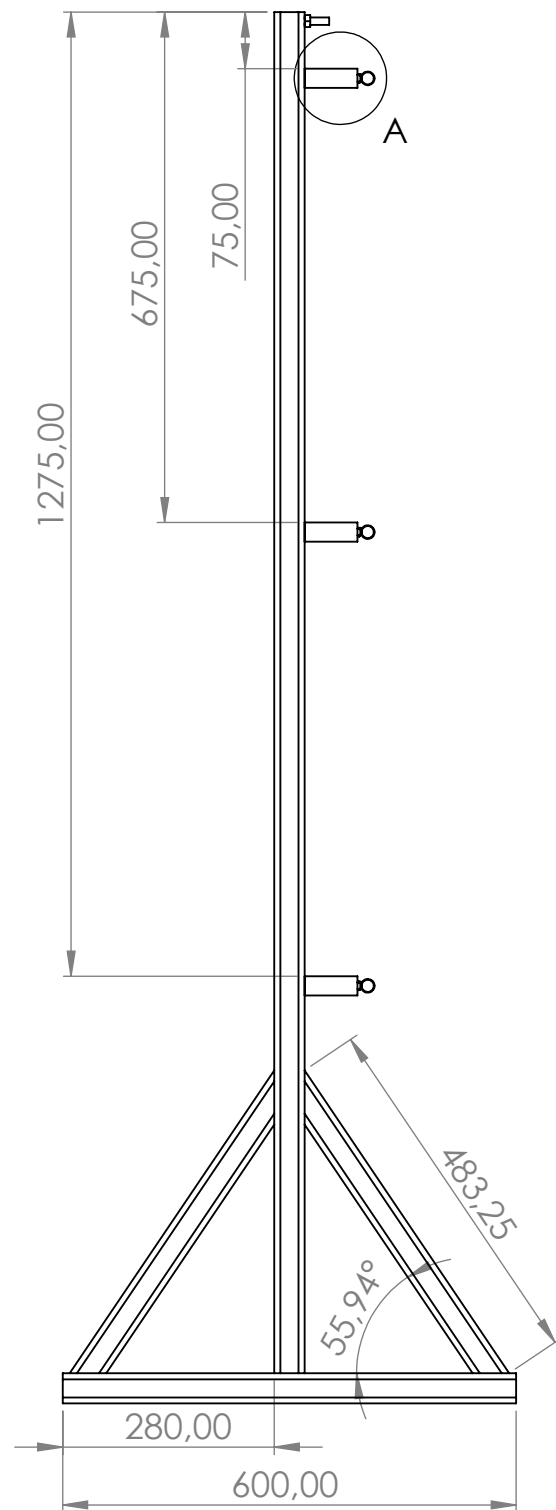
ANEXO A1. Planos del sistema hidráulico y bastidor

ANEXO A2. Plano de conjunto

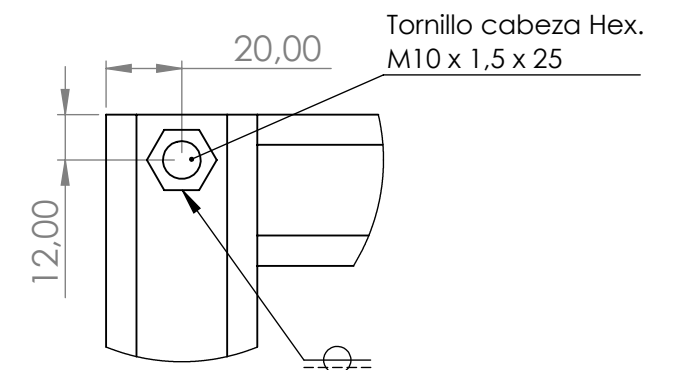
ANEXO B. Simulación de carga estática de la estructura

ANEXO C. Instalación del circuito eléctrico de control

ANEXO D. Código para la programación del *Arduino*



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

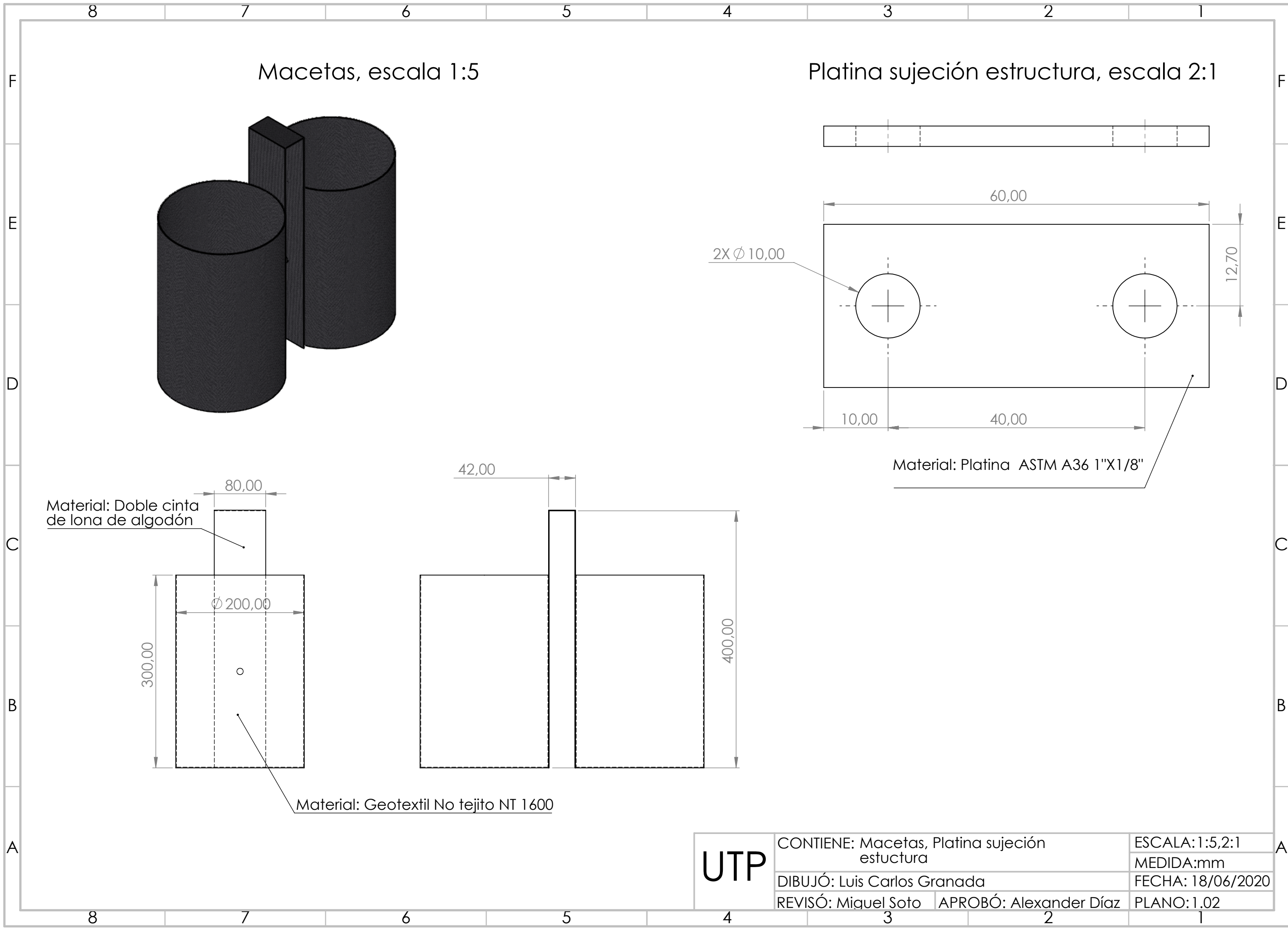


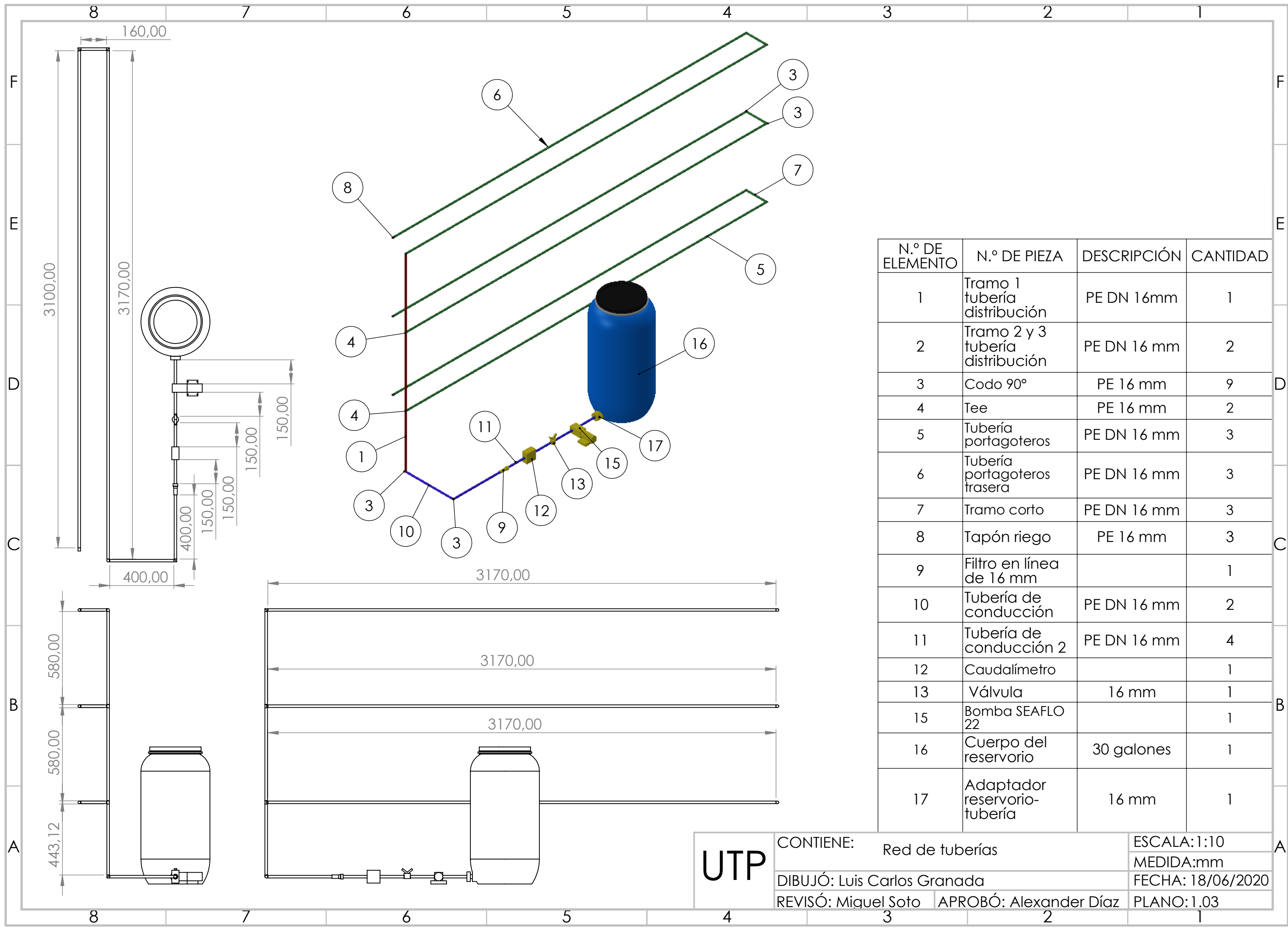
DETALLE B
ESCALA 1 : 2

Nota: Tubo cuadrado 40x40x4,2 ASTM A 36, excepto indicadas. Todos los tubos deberán ir soldados de acuerdo al símbolo indicado en la vista frontal.

UTP

CONTIENE: Estructura huerto vertical		ESCALA:1:10
		MEDIDA:mm
DIBUJÓ: Luis Carlos Granada		FECHA: 18/06/2020
REVISÓ: Miguel Soto	APROBÓ: Alexander Díaz	PLANO: 1.01





UTP

CONTIENE: Red de tuberías

DIBUJÓ: Luis Carlos Granada

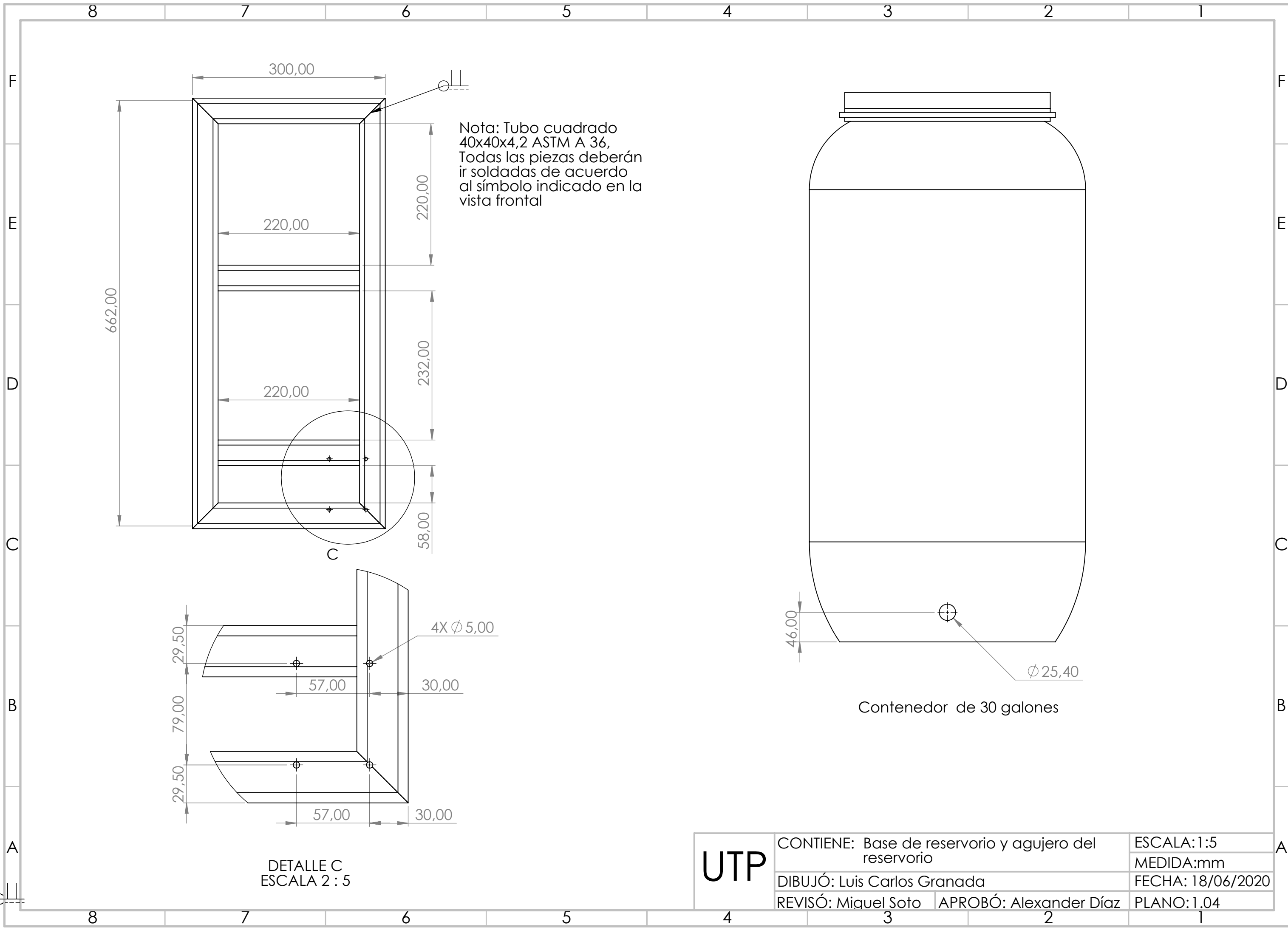
REVISÓ: Miguel Soto

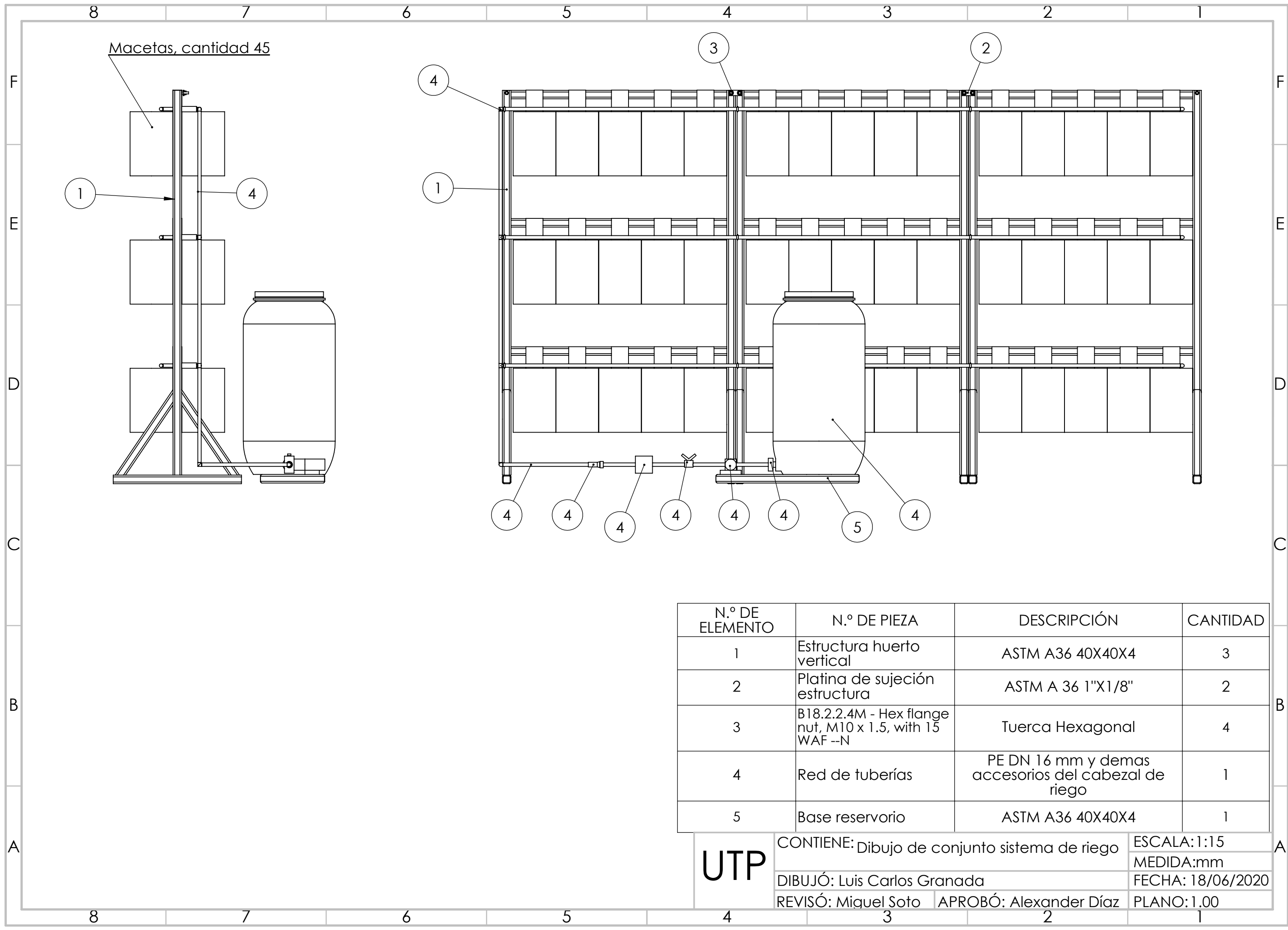
ESCALA:1:10

MEDIDA:mm

FECHA: 18/06/2020

PLANO:1.03







Descripción
No hay datos

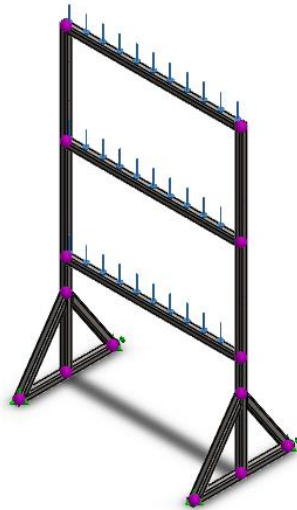
Simulación de Estructura

Fecha: viernes, 5 de junio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Análisis estático 3
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

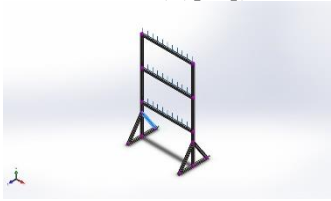
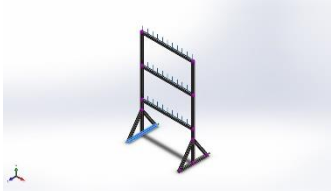
Descripción	1
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	5
Unidades	5
Propiedades de material	6
Cargas y sujeciones.....	7
Información de malla	8
Fuerzas resultantes.....	9
Resultados del estudio	10

Información de modelo

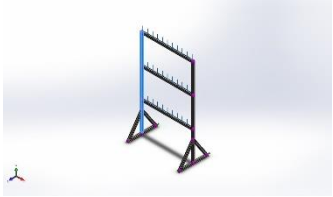
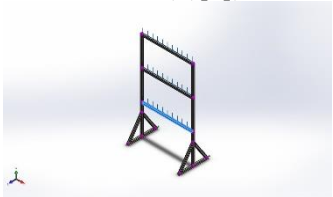
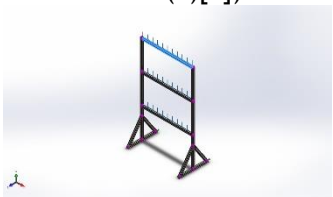


Nombre del modelo: Estructura
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos de viga:

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
Viga-1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[11]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:465.118mm Volumen:0.000235389m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:1.8478kg Peso:18.1085N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-2(Cortar-Extruir5) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:600mm Volumen:0.000320652m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:2.51712kg Peso:24.6677N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020



Viga-3(Cortar-Extruir4) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:600mm Volumen:0.000320652m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:2.51712kg Peso:24.6677N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-4(Cortar-Extruir7) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:1800mm Volumen:0.000962521m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:7.55579kg Peso:74.0467N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[5]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:1010mm Volumen:0.000540144m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:4.24013kg Peso:41.5533N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-6(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:1010mm Volumen:0.000540144m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:4.24013kg Peso:41.5533N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[7]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:1010mm Volumen:0.000540144m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:4.24013kg Peso:41.5533N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020

Viga-8(Cortar-Extruir6) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:1800mm Volumen:0.000962521m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:7.55579kg Peso:74.0467N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[8]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:465.118mm Volumen:0.000235386m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:1.84778kg Peso:18.1083N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-10(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:465.118mm Volumen:0.000235389m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:1.8478kg Peso:18.1085N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020
Viga-11(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:465.118mm Volumen:0.000235386m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:1.84778kg Peso:18.1083N	C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical\Estructura.SLDPR T Jun 5 04:57:28 2020

Propiedades de estudio

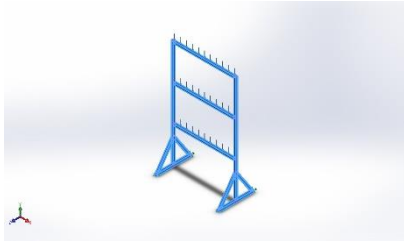
Nombre de estudio	Análisis estático 3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Luis Carlos\Desktop\Planos huerto vertical)

Unidades

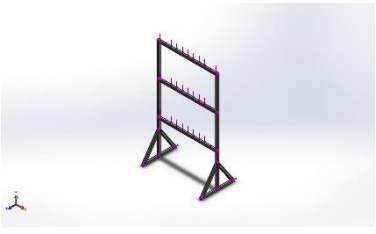
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

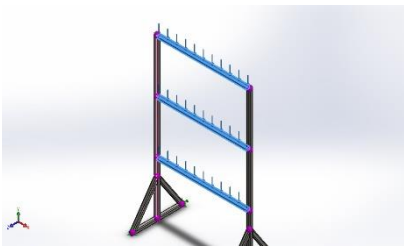


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7850 kg/m^3 Módulo cortante: $7.93 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ </p>	<p> Sólido 1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[11])(Estructura), Sólido 2(Cortar-Extruir5)(Estructura), Sólido 3(Cortar-Extruir4)(Estructura), Sólido 4(Cortar-Extruir7)(Estructura), Sólido 5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[5])(Estructura), Sólido 6(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6])(Estructura), Sólido 7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[7])(Estructura), Sólido 8(Cortar-Extruir6)(Estructura), Sólido 9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[8])(Estructura), Sólido 10(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9])(Estructura), Sólido 11(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10])(Estructura) </p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 4 Joint(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 3 Viga(s) Referencia: Arista< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, -2000 N Momentos: ---, ---, --- N.m




Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

Información de malla - Detalles

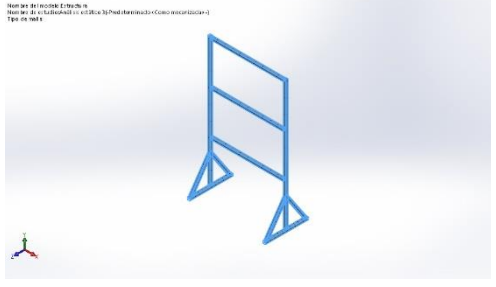
Número total de nodos	219
Número total de elementos	112
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo:Estructura
Nombre de estudio:Análisis estático 3 (-Predeterminado< Como mecanizada>-)
Tipo de malla:



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Control-1		Entidades: 11 Viga(s) Número de elementos: 10
-----------	---	--

Fuerzas resultantes

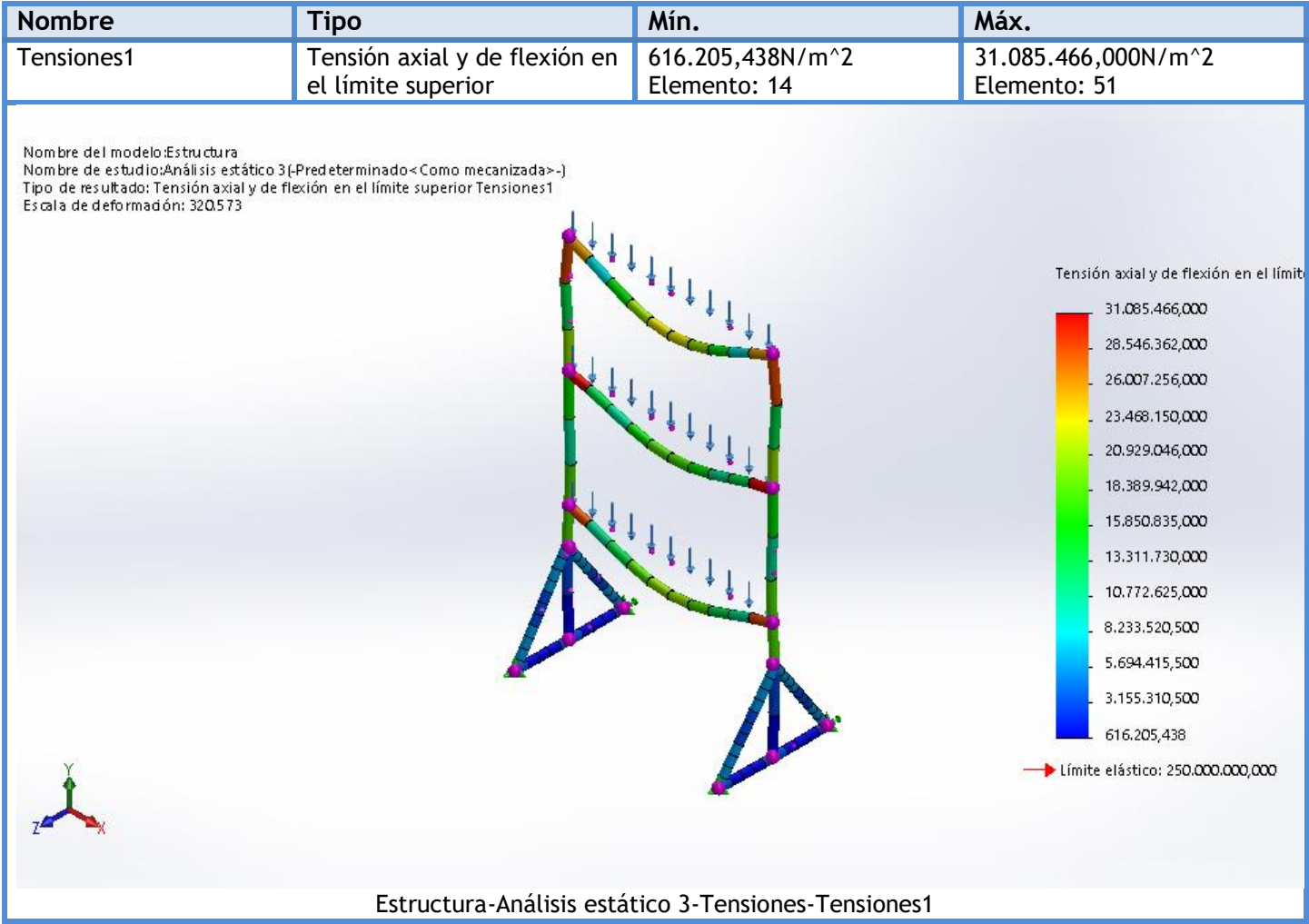
Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0	6237.62	0	6237.62

Momentos de reacción

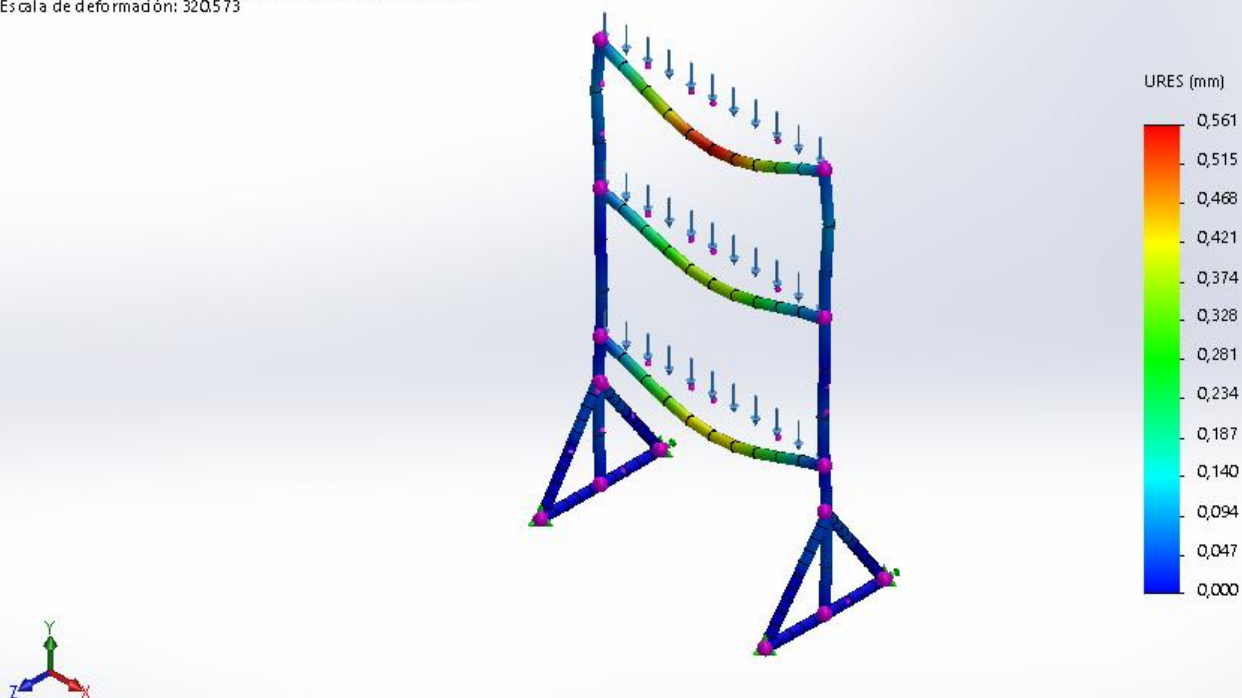
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	2.28882e-05	2.28882e-05

Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 1	0,561 mm Nodo: 66

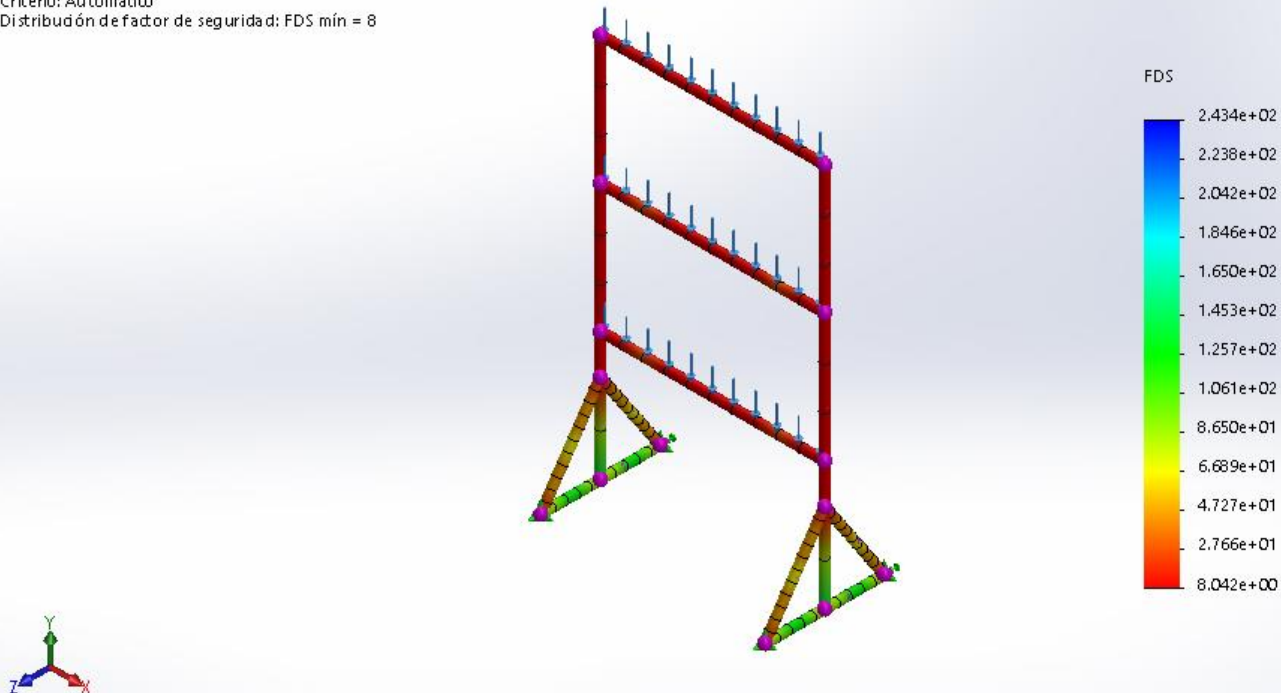
Nombre del modelo: Estructura
 Nombre de estudio: Análisis estático 3 (-Predeterminado < Como mecanizada > -)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 320.573



Estructura-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	8.042e+00 Nodo: 38	4.057e+02 Nodo: 121

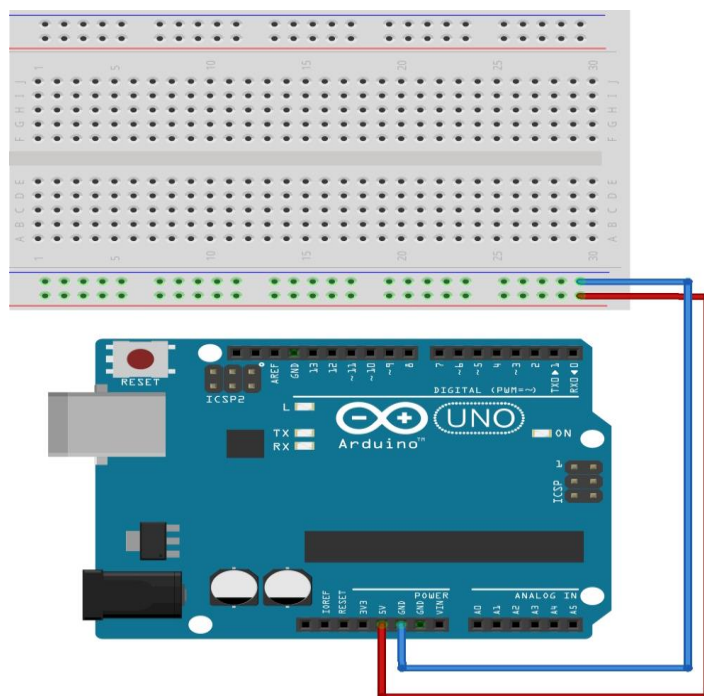
Nombre del modelo: Estructura
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (-Predeterminado < Como mecanizada > -)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8



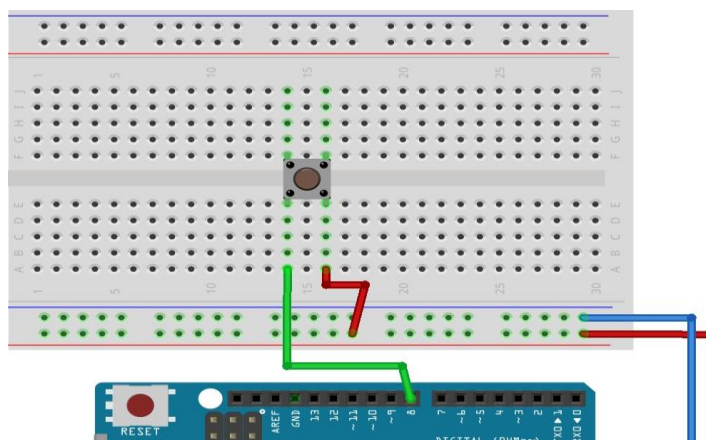
Estructura-Análisis estático 3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

ANEXO C – ENSAMBLE DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

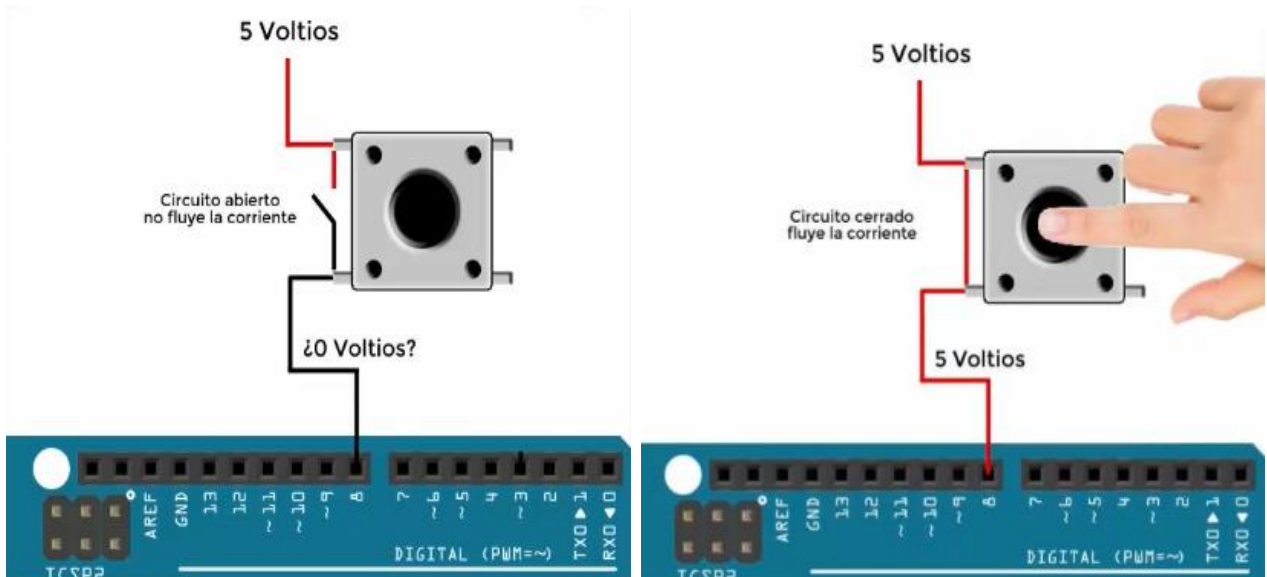
Para empezar, se procede a armar la fuente de alimentación de los componentes, esto a través del Arduino, con dos pines de alimentación: 5V y GND (Tierra). Se conectan a la protoboard mediante cables en las franjas roja y azul, respectivamente.



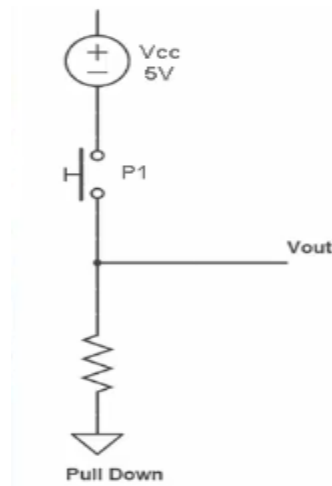
Una vez hecho, se inserta el pulsador en la protoboard. Para detectar la pulsación, se conecta una patilla del pulsador a 5v en la protoboard (previamente alimentada por el Arduino) y la otra se conecta a un pin digital del Arduino, puede ser cualquiera, en este caso se utilizó el pin #8 del Arduino (tener en cuenta que en la programación del Arduino, se debe declarar el pin utilizado, ver Anexo D).



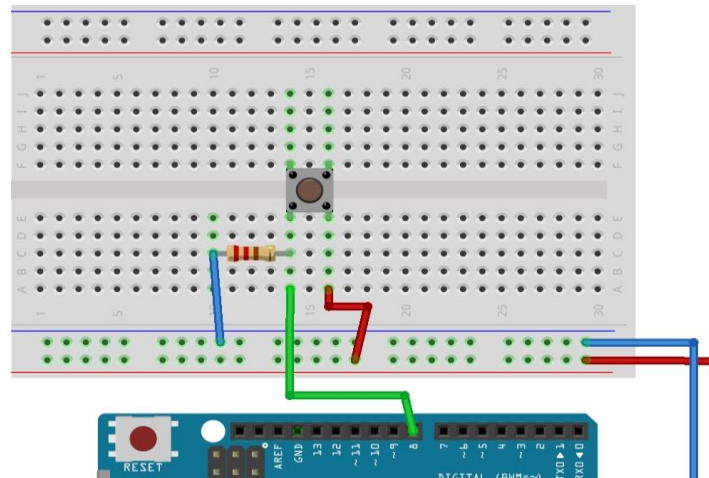
Con esta configuración se obtiene un circuito muy básico



Ahora, si el pulsador estuviera abierto representaría un problema, pues se le conoce como “pin al aire” lo que se traduce en una antena, produciendo interferencias y haciendo que el circuito pueda pasar de High (5V) a Low (0V) sin ningún patrón definido. Esto se debe evitar a través de un arreglo con resistencias, al método utilizado en este caso se le conoce como Pull Down, este debe ser llevado mediante resistencias con valores altos (mayores o iguales a 10 k Ω).

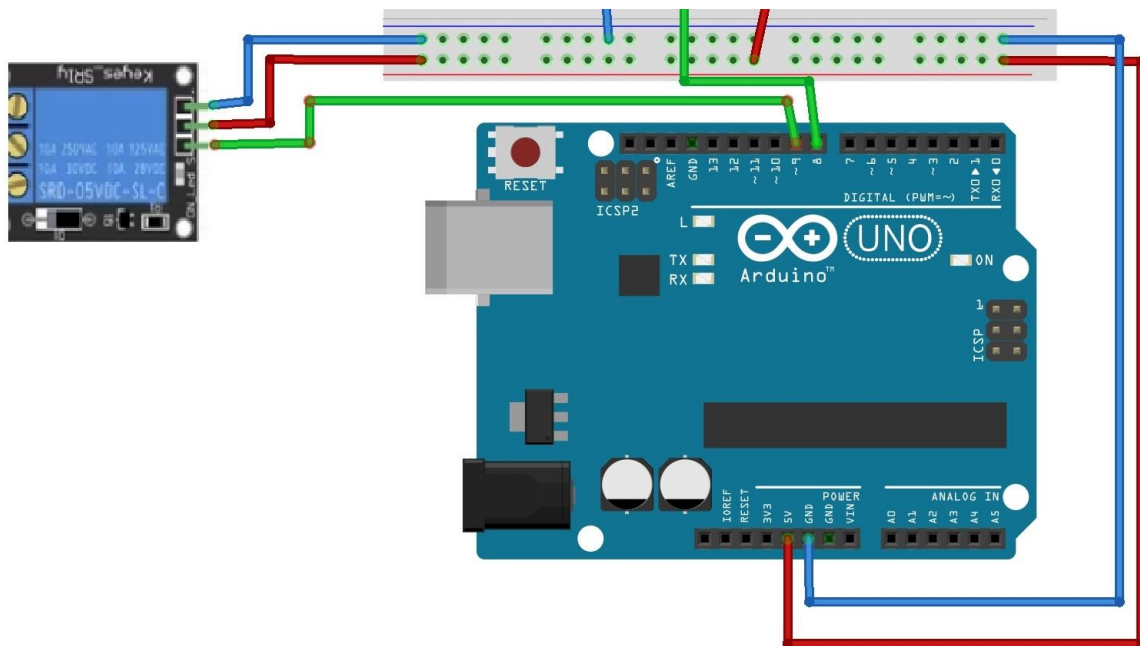


Con esta configuración se pretende que, cuando el pin “esté al aire” se tenga un valor de 0 V en la entrada del pin digital. Para esto se debe poner la resistencia en serie con el pulsador y conectar el otro extremo a GND (tierra).

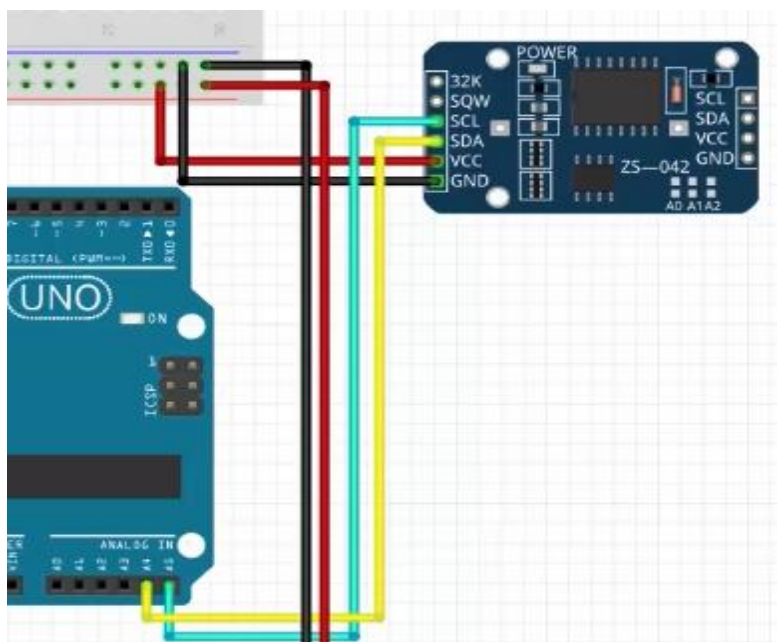


Ahora, se procede a conectar el Módulo relé. Este consta de dos partes, una se conecta a la red eléctrica y la otra es digital y se conecta a la placa Arduino. El relé sólo posee dos estados, encendido o apagado, simula la función de un interruptor; teniendo claro que un pin digital puede tener dos estados, High (encendido) o Low (apagado) y puede ser de entrada o salida, es decir, se puede leer un voltaje o extraer un voltaje por ese pin. En este caso, interesa que el estado sea de salida, ya que se va a activar el relé poniendo en el pin digital 5V (High) y se va a apagar con 0V (Low), todo esto se consigue en la parte de programación (ver Anexo D).

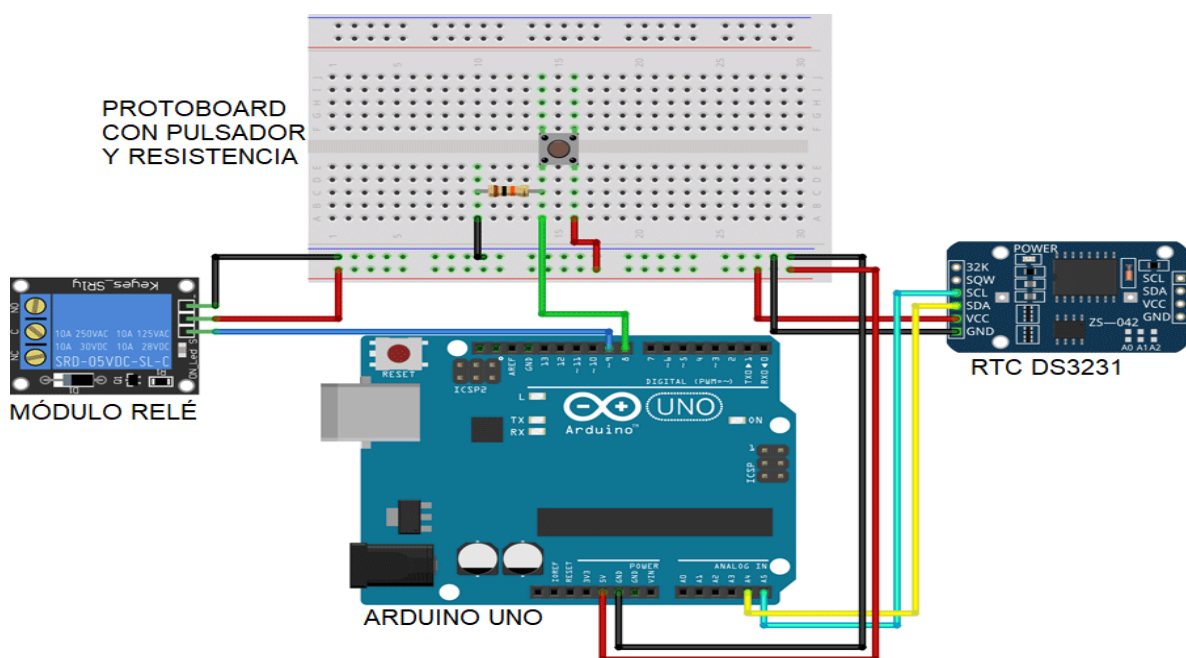
El relé tiene tres pines, dos de alimentación y otro de señales. El pin de señales se utiliza para enviar la orden de encender o apagar el relé (generalmente viene marcado con una "S" de signal). El pin de señales se conectará al pin #9 del Arduino y los demás en la alimentación (protoboard).



A continuación, se procede a conectar el RTC DS3231, posee protocolo I2C. Este tiene varios pines, de los cuales sólo se utilizarán cuatro, dos para alimentación (5V y GND) y dos para bus de datos, estos son: SDA (serial data) envío de datos y SCL (serial clock) señal de reloj para sincronizar la señal de envío de los datos, estos van conectados al Arduino en el pin A4 y A5, respectivamente.



De esta manera es el ensamble adecuado del circuito eléctrico.



ANEXO D – CÓDIGO PARA LA PROGRAMACION DEL ARDUINO (Arduino IDE)

Código para riego manual, a través del pulsador

```
1 // Declaración de variables, pines del arduino
2 const byte pinPulsador = 8;
3 const byte pinRele = 9;
4
5 void setup() {
6   // Configuración comunicación serie en Baudios
7   Serial.begin(9600);
8
9   // Modo de los pines (entrada, salida)
10  pinMode(pinPulsador, INPUT);
11  pinMode(pinRele, OUTPUT);
12 }
13
14 void loop() {
15   // Leer el pulsador
16   byte estadoPulsador = digitalRead(pinPulsador);
17
18   // Esperamos para evitar dobles pulsaciones
19   delay(300);
20
21   // Se comprueba si se ha pulsado el pulsador
22   if (estadoPulsador == HIGH) {
23
24     // Se cambia el estado del relé
25     digitalWrite(pinRele, !digitalRead(pinRele));
26   }
27 }
```

Este código permite, a través del pulsador, encender y apagar la bomba a voluntad.

Código para programación del RTC

```
1 // Se añaden librerías
2 #include <Wire.h>
3 #include "RTClib.h"
4
5 // Instancia a la clase RTC_DS3231
6 RTC_DS3231 rtc;
7
8 void setup() {
9     // Se inicia la comunicación serie en Baudios
10    Serial.begin(9600);
11
12    // Se inicia el Rtc
13    if (!rtc.begin()) {
14        Serial.println("No se ha encontrado el módulo RTC");
15        while (1);
16    }
17
18    // Ajuste de fecha y hora actual
19    rtc.adjust(DateTime(AÑO, MES, DIA, HORA, MINUTOS, SEGUNDOS));
20
21 }
22
23 void loop() {
24     // Impresión de fecha
25     DateTime tiempoReferencia = rtc.now();
26
27     Serial.print(tiempoReferencia.year(), DEC);
28
29     Serial.print(tiempoReferencia.year(), DEC);
30     Serial.print('/');
31     Serial.print(tiempoReferencia.month(), DEC);
32     Serial.print('/');
33     Serial.print(tiempoReferencia.day(), DEC);
34     Serial.print(" ");
35     Serial.print(tiempoReferencia.hour(), DEC);
36     Serial.print(':');
37     Serial.print(tiempoReferencia.minute(), DEC);
38     Serial.print(':');
39     Serial.print(tiempoReferencia.second(), DEC);
40     Serial.println();
41 }
```

Este código permite programar el RTC (reloj en tiempo real) se añaden librerías nuevas, pues este trabaja bajo protocolo I2C. Observe línea 19, se debe reemplazar los Date Time al tiempo actual y posteriormente subir al hardware, la ventaja del RTC DS3231 radica en que posee una pila de botón, por lo que sólo es necesario programar la fecha una sola vez.

Código para riego automático y manual

```
1 // Se añaden librerías
2 #include <Wire.h>
3 #include "RTClib.h"
4
5 // Variables declaradas para los pines
6 const byte pinPulsador = 8;
7 const byte pinRele = 9;
8
9 // Instancia a la clase RTC_DS3231
10 RTC_DS3231 rtc;
11
12 // Parámetros de riego
13 const byte diasRiego = 1;
14 const byte horaRiego = 14;
15 byte contadorDias = 0;
16 boolean centinelaHora = true;
17
18 // Tiempo de riego
19 const long duracionRiego = 5000; // Cuánto tiempo quiere que se riegue en milisegundos
20 unsigned long marcaTiempo; // Marca de tiempo para contar los milisegundos
21
22 void setup() {
23   // Configuración de comunicación serie en Baudios
24   Serial.begin(9600);
25
26   // Modo de los pines (entrada, salida)
27   pinMode(pinRele, OUTPUT);
28
29   // Iniciamos el rtc
30   if (!rtc.begin()) {
31     Serial.println("No se ha encontrado el módulo RTC");
32     while (1);
33   }
34 }
35
36
37 void loop() {
38   // Leer el pulsador
39   byte estadoPulsador = digitalRead(pinPulsador);
40
41   // Esperamos para evitar dobles pulsaciones
42   delay(300);
43
44   // Comprobamos si se ha pulsado el pulsador
45   if (estadoPulsador == HIGH) {
46
47     // Cambiamos de estado el relé
48     digitalWrite(pinRele, !digitalRead(pinRele));
49
50     // Comenzamos a contar el tiempo
51     marcaTiempo = millis();
52   }
53 }
54
```

```

55 // Obtenemos la fecha
56 DateTime tiempoReferencia = rtc.now();
57
58 // Mostramos la fecha por el monitor serie
59 Serial.print(tiempoReferencia.year(), DEC);
60 Serial.print('/');
61 Serial.print(tiempoReferencia.month(), DEC);
62 Serial.print('/');
63 Serial.print(tiempoReferencia.day(), DEC);
64 Serial.print(" ");
65 Serial.print(tiempoReferencia.hour(), DEC);
66 Serial.print(':');
67 Serial.print(tiempoReferencia.minute(), DEC);
68 Serial.print(':');
69 Serial.print(tiempoReferencia.second(), DEC);
70 Serial.println();
71
72 // Si es la hora de regar
73 if (tiempoReferencia.hour() == horaRiego && centinelaHora) {
74     // Marcamos para que no vuelva a entrar
75     centinelaHora = false;
76
77     // Sumamos una al contador de días
78     contadorDias = contadorDias + 1;
79
80     // Si han pasado los días para regar
81     if (contadorDias == diasRiego) {
82
83         // Regamos
84         digitalWrite(pinRele, HIGH);
85         Serial.println("Enciende riego automático");
86
87         // Comenzamos a contar el tiempo
88         marcaTiempo = millis();
89
90         // Iniciamos el contador de días
91         contadorDias = 0;
92     }
93     // Si es otra hora marcamos para que vuelva a detectar
94 } else if (tiempoReferencia.hour() != horaRiego) {
95     centinelaHora = true;
96 }
97
98 // Si está regando
99 if (digitalRead(pinRele)) {
100
101     // Protegemos para cuando se reinicie millis()
102     if (millis() < marcaTiempo) {
103         marcaTiempo = 0;
104     }
105
106     // Comprobamos si ha pasado el tiempo
107     if (millis() - marcaTiempo >= duracionRiego) {
108         // Apagamos el riego
109         digitalWrite(pinRele, LOW);
110         Serial.println("Apaga riego automático");
111     }
112 }

```

Este código permite manipular el riego a voluntad y completamente automático. Observe la línea 12, ese apartado accede a la modificación dependiendo de las necesidades del cultivo, en el

ejemplo, se riega cada día a las 14:00 horas. El apartado 18, permite manipular el tiempo de riego, en el ejemplo se observa un tiempo de 5000 ms, es decir, 5 segundos. Además, cuenta con sistema manual para encendido y apagado, por medio del pulsador, a su vez actúa como sistema de paro de emergencia.